



Universidad
Carlos III de Madrid

Grado en Ingeniería de Sistemas de
Comunicaciones

Trabajo Fin de Grado
“*Swap* de una red de
comunicaciones: proceso y revisión
de la obra en tecnologías 2G y 3G”

***Autora: Cristina Bachiller
Madroño***

***Tutora: Dra. María Julia
Fernández-Getino García***

Octubre 2015

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a la empresa LCC Spain la confianza que ha depositado en mí para permitirme llevar a cabo este proyecto, en concreto a Iván, que me ofreció la idea de realizarlo y que me ha formado en la elaboración del mismo.

De la misma forma, dar gracias a mis compañeros de trabajo que me han apoyado y prestado su ayuda durante estos meses.

A los profesores de la Universidad Carlos III, que se han interesado en transmitirnos los conocimientos necesarios para nuestro aprendizaje y han formado parte de mi etapa universitaria.

Agradecer a la doctora María Julia Fernandez-Getino, que accedió a ser mi tutora en este trabajo y me ha ayudado en la realización de la memoria, poniendo gran atención al seguimiento del proyecto.

A mis compañeros de universidad, entre los cuales me llevo grandes amistades, especialmente quiero dar las gracias a Ana, Chan, Adri, Álvaro, Juancar, Elia y Santi los cuales me han apoyado siempre y se han convertido en amigos indispensables.

No quiero olvidarme de mis amigas, las de siempre, las que con mucha o poca distancia de por medio, siempre han estado ahí, siempre me han ayudado y han compartido conmigo tanto las buenas como las malas rachas. Gracias Marta, Elena, Patri y Estefanía.

Para terminar dejo lo mejor, mi familia. Sin ellos nada habría sido posible, han sido un apoyo completo y constante para mí y gracias a ellos he conseguido todo lo que tengo. Gracias mamá, gracias papá y gracias abuelos, los que están y los que ya se fueron, espero que estéis donde estéis, podáis estar orgullosos de esto.

“Lo que hacemos no es lo que nos define, lo que nos define es como nos levantamos después de caernos.”

Bob Hoskins

Resumen

En este Trabajo Fin de Grado se explica el proceso de un *swap* en la red de comunicaciones, cuyos objetivos son la modernización de la red consiguiendo mejorar las prestaciones de los servicios ofrecidos al cliente y el abaratamiento de los costes.

Un *swap* es un intercambio de la tecnología en una red de comunicaciones, de forma transparente para el usuario y con la red en funcionamiento. Se utilizará el término en inglés, por ser el más utilizado en la literatura.

Para introducir la materia en la cual se basa la realización de un *swap* en la red, es necesario situarse en el marco histórico actual, y resumir las tecnologías de red que se van a tener en cuenta en el proyecto, como son las redes 2G y 3G.

En esta memoria se explica paso a paso la obra a realizar, describiendo las distintas fases llevadas a cabo por una operadora concreta para conseguir los objetivos buscados por la misma.

Se profundiza en la fase de revisión y optimización de la obra efectuada, es decir, una vez que se lleva a cabo el *swap* en una estación de la red, se explican detenidamente las verificaciones posteriores necesarias para comprobar que el trabajo se ha ejecutado correctamente.

Además de las revisiones post-*swap*, se deben llevar a cabo los cambios que se crean necesarios para optimizar el rendimiento de la red y de este modo, alcanzar el nivel de calidad de servicio que la operadora estime oportuno. La parte teórica del proyecto se explicará mediante el uso de ejemplos de distintos emplazamientos donde se han llevado a cabo trabajos de *swap*.

Para mostrar la visión de la situación de las estaciones base y sus correspondientes sectores en el mapa geográfico, se utilizará la herramienta Google Earth, en la que se incluye una determinada base de datos introducida por la operadora que lleva a cabo los *swaps* descritos en este proyecto. Además, las gráficas de tráfico, los datos medidos en las revisiones y los valores obtenidos de los *drive test* (medidas que se llevan a cabo con escáneres y móviles especiales con los que se obtienen datos del estado de la red en un área determinada), se encuentran en una base de datos llamada Web Baleares, también aportada por la operadora de red.

Además, se lleva a cabo el seguimiento de un *swap* en una localización real y la posterior optimización hasta la obtención del visto bueno por parte de la empresa poseedora de los módulos y el sistema radiante en dicha estación base.

Abstract

This final work explains the process of a swap in the communications network, which aim is the modernization of the network managing to improve the features of the services offered to the client and fewer costs.

A swap is an exchange of the technology in the communications network made in a transparent way and at the same time that the network is working.

It is necessary to place in the current framework to introduce the matter in which the execution of a swap on the network is based, and summarize the network technologies' 2G and 3G that are going to be taken into account in this project.

The work to be made is explained step by step in this thesis, describing the different stages carried out by the network operator to achieve specifics objectives defined by itself.

Once the swap is executed, in this thesis it is penetrated into the optimization and revision stage explaining in detail the after-work checkups necessary to verify that the work has been carried out properly.

Besides the post-swap revisions, there must be carried out the changes that should been necessary to optimize the performance of the network and thus, to reach the quality level of service that the network operator considers opportune. The theoretical part of this project will be explained by means of the use of examples from different sites where swaps have been executed.

To show the sight of the situation of the base stations and his corresponding sectors in the geographical map, there will be used Google Earth, in which there is included a certain database introduced by the operator who carries out the swaps described in this project. In addition, the traffic's graphs, the information measured in the reviews and the values obtained from the drive test (measures that are carried out by scanners and special mobiles with which there is obtained information of the condition of the network in a certain area), are in a database called Web Baleares, also introduced by the network operator.

In addition, the follow-up of a swap is carried out in a real location and the afterwards optimization up to raising the approval from the vendor in the respective base station.

Índice

Agradecimientos.....	2
Resumen.....	3
Abstract	4
Índice	5
Índice de figuras	6
Capítulo I	
Introducción	9
1.1 Breve preámbulo sobre las telecomunicaciones: motivación	9
1.2 Estado del arte: objetivos	14
1.3 Estructura de la memoria	16
Capítulo II	
Fundamentos de la red de comunicaciones	17
2.1 Arquitectura o topología.....	18
2.2 Escala	19
2.3 Tecnología de transferencia	20
Capítulo III	
Principios básicos sobre tecnologías de red y elementos del sistema radiante.....	23
3.1 Tecnología de red 2G	24
3.2 Tecnología de red 3G	28
3.3 Elementos del sistema radiante	30
Capítulo IV	
Swap de un sistema de comunicaciones	39
4.1 Acta de replanteo	43
4.2 Diseño de radio	46
4.3 Medidas drive test pre-swap	51
4.4 Swap y monitorización	55
4.5 Medidas drive test post - swap.....	58
4.6 Revisión y optimización	60
4.7 Gestión y aceptación	78
Capítulo V	
Seguimiento y optimización de un swap en una localización real.....	79
Capítulo VI	
Conclusiones y trabajos futuros	91
6.1 Conclusiones	91
6.2 Trabajos futuros.....	92
Capítulo VII	
Presupuesto y gestión del proyecto	95
Bibliografía.....	97
Annex A: Brief summary	99
Annex B: Chapter I - Introduction.....	109
Annex C: Chapter VII – Conclusions and further work	117

Índice de figuras

Figura 1.1: Esquema de comunicación.....	9
Figura 1.2: Cronología de las tecnologías de red	11
Figura 1.3: Arquitectura antigua y nueva de la red de comunicaciones.....	14
Figura 2.1: Topología en bus	18
Figura 2.2: Topología en anillo	18
Figura 2.3: Topología en estrella	18
Figura 2.4: Topología en malla	18
Figura 2.5: Clasificación de redes inalámbricas.....	19
Figura 3.1: Distribución del territorio para comunicaciones móviles	23
Figura 3.2: Arquitectura de red 2G	24
Figura 3.3: Arquitectura de red 3G	28
Figura 3.4: Diagrama de radiación de una antena isotrópica	31
Figura 3.5: Antena y diagrama de radiación de una antena omnidireccional	31
Figura 3.6: Estructura y diagrama de propagación de una antena direccional	32
Figura 3.7: Estructura y diagrama de radiación de una antena sectorial	33
Figura 3.8: Patrón de radiación de una antena.....	35
Figura 3.9: Tipos de polarización.....	35
Figura 3.10: Representación del ángulo azimutal.....	36
Figura 4.1: Ciclo de la red de comunicaciones	39
Figura 4.2: Esquema de los pasos a ejecutar para realizar un <i>swap</i> en un <i>site</i>	42
Figura 4.3: Acta de replanteo, primera parte	43
Figura 4.4: Acta de replanteo, segunda parte.....	44
Figura 4.5: Esquema final de la situación del nuevo sistema radiante	45
Figura 4.6: Ejemplo entorno de vecindades.....	49
Figura 4.7: Mapa con relación de vecinas de una celda concreta	50
Figura 4.8: Datos básicos <i>site</i> , test drive	51
Figura 4.9: KPIs <i>drive test</i> 2G.....	51
Figura 4.10: KPIs <i>drive test</i> 3G.....	53
Figura 4.11: Esquema de puesta <i>On Air</i> de un <i>site</i>	55
Figura 4.12: Ejemplo del mapa para el área de cobertura a medir	58
Figura 4.13: proceso de verificación de un <i>swap</i>	59
Figura 4.14: Ejemplo del tráfico en una celda.....	62
Figura 4.15: Ejemplo de sector con tráfico degradado	63
Figura 4.16: Ejemplo de degradación en el porcentaje de caídas	66
Figura 4.17: Aumento de tráfico y degradación de caídas.....	66
Figura 4.18: Ejemplo de celda con degradación de tráfico y de llamadas caídas	67
Figura 4.19: Esquema de radiación de una antena omnidireccional	69
Figura 4.20: Sectores de un nodo.....	70
Figura 4.21: Representación de tres nodos con sus respectivos sectores.....	71
Figura 4.22: Tabla de <i>handovers</i> de una celda concreta.....	72
Figura 4.23: Tabla de <i>handovers</i> de varias celdas.....	73

Figura 4.24: Tabla de <i>handovers</i> en caso de sectores cruzados	74
Figura 4.25: Parámetro <i>tilt</i> de una antena	76
Figura 4.26: Ejemplo de sobrealcance	77
Figura 4.27: Proceso de aceptación total.....	78
Figura 5.1: Situación geográfica del emplazamiento A.....	79
Figura 5.2: Acta de replanteo emplazamiento A, primera parte	80
Figura 5.3: Acta de replanteo emplazamiento A, segunda parte	81
Figura 5.4: Organización final de los módulos y las antenas en el emplazamiento A	82
Figura 5.5: Información de las celdas en las que se va a realizar el <i>swap</i>	83
Figura 5.6: KPIs de las medidas pre- <i>swap</i> en el emplazamiento A	83
Figura 5.7: Información de las celdas en las que se ha realizado el <i>swap</i>	84
Figura 5.8: KPIs de las medidas post- <i>swap</i> en el emplazamiento A	84
Figura 5.9: Estudio del tráfico dos días después del <i>swap</i> en el <i>site</i> A	85
Figura 5.10: Evolución del tráfico hasta el día 15 de Agosto en el emplazamiento A	86
Figura 5.11: Resultados de la evolución del tráfico después de los cambios de BsTxPower en el emplazamiento A	86
Figura 5.12: Situación final del <i>site</i> donde se ha realizado el <i>swap</i>	87
Figura 5.13: <i>Handovers</i> realizados por la celda G1	87
Figura 5.14: <i>Handovers</i> realizados por la celda G2	88
Figura 5.15: <i>Handovers</i> realizados por la celda G3	88
Figura 5.16: Situación final sector G1 <i>site</i> A.....	88
Figura 5.17: Situación final sector G2 <i>site</i> A.....	89
Figura 5.18: Situación final sector G3 <i>site</i> A.....	89
Figura 7.1: Representación de la gestión del proyecto mediante el Diagrama de Gantt	95



Capítulo I: Introducción

1.1 Breve preámbulo sobre las telecomunicaciones: motivación

Desde el principio de los tiempos, la evolución del ser humano se ha desarrollado en torno a las necesidades que han ido surgiendo, para solventar problemas y mejorar las condiciones de vida. Actualmente, la comunicación es algo esencial en la vida de los seres humanos, y cada día se desarrolla con mayor rapidez.

Se entiende por comunicación *el trato o correspondencia entre dos o más personas, o la transmisión de señales mediante un código común al emisor y al receptor*, según el diccionario de la Real Academia Española [1].

La comunicación ha sido uno de los pilares más importantes para conseguir todo lo que nos rodea hoy en día. El esquema más simple de comunicación que existe es el representado en la Figura 1.1, donde se distinguen tres partes principales: emisor, mensaje y receptor.

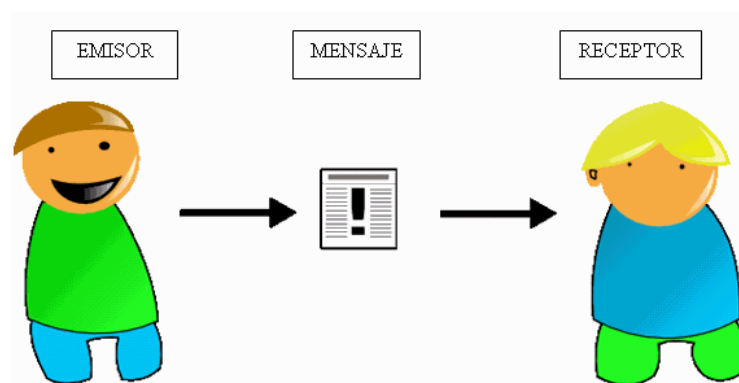


Figura 1.1: Esquema de comunicación [2]

La Figura 1.1 está representando un sistema de comunicaciones, es decir, el esquema indica la transmisión de una señal a través de un canal de comunicaciones desde el emisor hasta el receptor.

En este proyecto, el canal de comunicaciones utilizado es el espacio, el aire, a través del cual se transmiten las ondas que contienen la información. Estas ondas pueden ser señales analógicas o digitales dependiendo del sistema transmisor.

En el Capítulo III se explicarán las características de cada una de las tecnologías con las que se trabaja en este proyecto.

A lo largo del tiempo, el ser humano ha cambiado su estilo de vida, hasta conseguir que esta sea lo más cómoda y mejor posible. Y así, la comunicación ha ido evolucionando a medida que han cambiado los objetivos de los hombres.

Uno de los motivos por el cual las comunicaciones han mejorado exponencialmente en los últimos años es la búsqueda de la sencillez y la facilidad en todo cuanto nos rodea.

En los últimos años, la tecnología ha permitido un gran avance en el campo de las comunicaciones, consiguiendo que avances que eran impensables que sucedieran hace 60 años, ahora sean algo totalmente cotidiano y al alcance de mucha gente.

Desde buscar cualquier información mediante un teléfono inteligente en medio de la calle hasta permitir una comunicación mediante videoconferencia entre dos personas separadas por miles de kilómetros.

Sin duda, uno de los puntos más fuertes a destacar en esta carrera por la mejora de las comunicaciones, es el de las telecomunicaciones o comunicaciones a grandes distancias.

Ya que cada día crece la necesidad y el interés de mejorar las comunicaciones en todo el mundo, en España se están llevando a cabo actualmente diversos trabajos de despliegue y modernización de las redes de comunicaciones.

Dada la continua búsqueda de la comodidad y la calidad, es necesario actualizar los servicios ya disponibles que satisfagan estos deseos, cuando se descubren y se desarrollan nuevos avances.

En el área de las telecomunicaciones, las redes 2G y 3G son algo común en casi todas las zonas urbanas y lo que se busca es cada vez una mayor velocidad en la transmisión de datos que conceden rapidez y ahorro de tiempo.

Las actuales implantaciones de redes 4G permiten una mejora en la calidad de la comunicación, una mayor velocidad y un aumento del alcance del área de cobertura.

Además de los motivos anteriormente especificados, una parte importante que lleva a realizar este tipo de obras en la red, es el abaratamiento de costes. Cada vez más, los operadores de red ofrecen a sus clientes mejores servicios a precios más bajos, debido, entre otras cosas, a la amplia oferta de servicios existentes.

Por este motivo, es necesario que el proveedor que les suministra los materiales necesarios para crear el sistema radiante, también abarate el coste de los equipos. Por tanto, además de mantener y mejorar el servicio ofertado a los clientes, las operadoras de red buscan una reducción en los costes de mantenimiento e integración, buscando el proveedor que ofrezca la mejor relación calidad-precio.

Es, sobre todo, en pueblos y entornos rurales donde hasta ahora no se han implantado algunos de estos servicios, las zonas en las que se están realizando muchos trabajos de integración de nuevos equipos. Sin embargo, gracias al crecimiento exponencial del sector de las telecomunicaciones, cada vez son menos frecuentes las zonas del territorio español en las que no se alcanzan unos niveles mínimos de cobertura y de transferencia de datos móviles.

Este proyecto tiene como objetivo precisamente, la mejora de la red telefónica en España por parte de un operador, en la que se modernizan los sistemas ya implantados, cambiando los ya presentes por otros nuevos para mejorar la calidad de las llamadas y la transferencia de información a través de datos móviles, además de la implantación de nuevas tecnologías como 3G y 4G en algunos de los emplazamientos.

De forma cronológica, podemos presentar un esquema que muestre el crecimiento de las tecnologías de red en los últimos años.

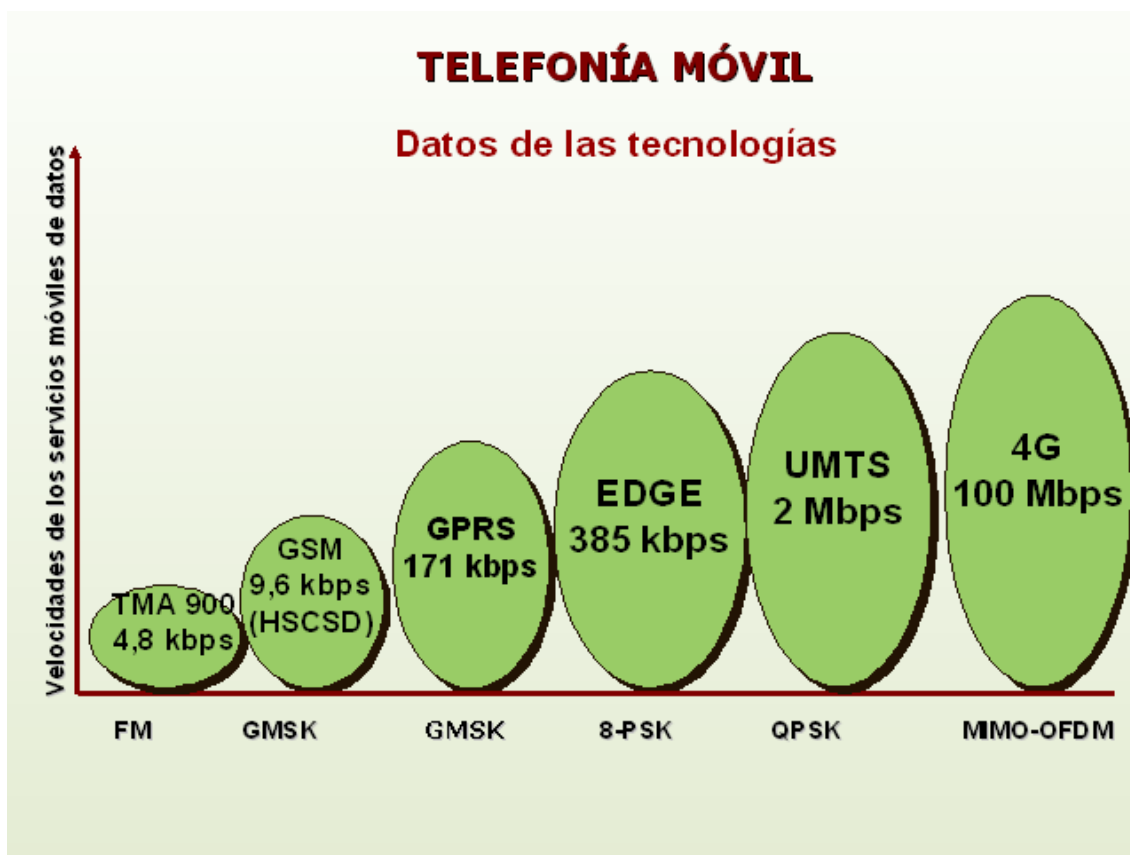


Figura 1.2: Cronología de las tecnologías de red [3]

En la Figura 1.2 se representan las distintas tecnologías de red de forma cronológica. En cada una se indica la velocidad de transmisión que cada tecnología es capaz de proveer. En el eje de abscisas, se indica el tipo de modulación usada en cada caso.

Las principales características de cada una de las tecnologías representadas en la Figura 1.2, se describen a continuación:

- **TMA** (Telefonía Móvil Automática): tecnología de primera generación (1G), cuya transmisión se realizaba de forma analógica, y solo permitía el envío y recepción de llamadas y servicio de buzón de voz.

- **GSM** (*Global System for Mobile Communications*): tecnología de segunda generación (2G), que incorpora ya la transmisión digital y que ofrecía los mismos servicios que la anterior, y además, permite el envío y recepción de mensajes cortos de texto (SMS), multiconferencias y transmisión de datos.
- **GPRS** (*General Packet Radio Service*): considerada como tecnología 2.5G, ya que es una versión avanzada de GSM con los mismos servicios ofertados pero con mayor velocidad de transmisión.
- **EDGE** (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*): considerada como tecnología 2.5G o 2.75G, gracias a un aumento en la velocidad de transmisión respecto a las redes GPRS.
- **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunication System*): que ofrece un rápido acceso a Internet y a plataformas multimedia.
- **4G**: telefonía de cuarta generación con una mayor velocidad de transmisión, en la que se distinguen distintas frecuencias de portadora, que dependen del tipo de señal transmitida. Es capaz de cambiar entre redes cableadas e inalámbricas, de forma que cada señal se envía en un rango de frecuencias determinado. Estas redes se especializan en un acceso a Internet y a infinitas aplicaciones a una altísima velocidad para facilitar el entretenimiento.

Por otra parte, cada tecnología utiliza una modulación diferente, que en una primera clasificación, puede ser analógica o digital. Cada una de estas dos modulaciones se puede dividir a su vez, en distintos tipos de modulaciones atendiendo a distintos parámetros de la onda. A continuación se definen las características más importantes de las indicadas en la Figura 1.2:

- **FM**: modulación en frecuencia. Es un tipo de modulación analógica, cuyo objetivo es codificar la información mediante la variación de la frecuencia de la señal portadora, sin alterar la amplitud de la onda. Las ventajas más importantes de esta modulación son el bajo coste de los equipos utilizados y una afectación de ruido y de señales externas muy baja.
- **GMSK**: modulación por desplazamiento mínimo gaussiano. Es un tipo de modulación digital por variación de la frecuencia de fase continua que incluye un filtro gaussiano para suavizar las transiciones de fase, de tal forma que la señal no sufra grandes cambios en la fase de la onda en la transmisión de la señal y así reducir el ancho de banda necesario. También consigue reducir las interferencias que se puedan ocasionar en los canales adyacentes. Sin embargo, esta modulación provoca más **ISI** (interferencia intersimbólica), porque en la salida del filtro, la señal tiene más duración que 1 bit, y por tanto no queda bien delimitado el final de un símbolo y el principio del siguiente.

- **8-PSK:** es una modulación digital de la orden de la modulación PSK (*Phase Shift Keying*). En este caso, la codificación se realiza variando la fase de la onda entre un número discreto de valores. Más concretamente, la 8-PSK permite variar entre 8 fases la onda. La ventaja es que, cuanto mayor sea el número de fases en las que puede variar la onda, mayor es la cantidad de información que se puede transmitir. El inconveniente es que la tasa de error es alta respecto a otras modulaciones.
- **QPSK:** (*Quadrature PSK*) o PSK cuatrifásica. Es una modulación digital que permite la variación entre 4 fases. Cada símbolo se codifica en 2 bits, por lo que la tasa de error es bastante menor que en el caso anterior ya que solo difiere de un símbolo a otro en 1 bit.
- **MIMO-OFDM:** OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) es capaz de dividir los datos en distintas portadoras que están separadas por frecuencias concretas. MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*) lo que significa que estos sistemas son capaces de transmitir los datos por múltiples salidas y recibirlos en múltiples entradas, a través del uso de varias antenas tanto en el emisor como en el receptor. De esta forma, esta modulación permite que a través de un solo medio de transmisión, se transmitan muchas señales a la vez, enviando cada señal en una portadora concreta. Este tipo de modulación es muy resistente a las interferencias y además la distorsión provocada por el *multipath*, es muy baja.

Como se puede observar, gracias a estas especificaciones de la evolución de las tecnologías utilizadas, a lo largo del tiempo, se han mejorado las prestaciones con cada nuevo salto realizado.

Las ventajas que se han obtenido son principalmente, un incremento de la velocidad de transmisión que cada tecnología es capaz de proporcionar, y la mejora en el uso de la modulación que mejor se adapta a cada tecnología. Esto es, conseguir una mejor codificación de la señal portadora de la información, y por lo tanto, conseguir que la señal recibida sea lo más parecida posible a la señal transmitida, que es el objetivo último de los sistemas de comunicaciones. [4] [5]

Gracias a estos cambios que han ido proporcionando mejoras en las prestaciones de los servicios ofrecidos, la calidad en la transmisión y recepción de la información es cada vez mayor. Este es uno de los motivos que llevan a las operadoras de red a la realización de los *swaps* en la red de comunicaciones y a la integración e implantación de las nuevas tecnologías en un mayor número de emplazamientos cada año.

1.2 Estado del arte: objetivos

El proyecto se lleva a cabo en determinados puntos de España, por lo que las especificaciones de la estructura de la red y la arquitectura de las tecnologías descritas en este trabajo se limitan a la geografía española, ya que, aunque la situación actual es muy similar a la del resto de países europeos, no es exactamente la misma.

Actualmente en España predomina la red 2G, a pesar de que en el año 2000 se iniciara la implantación de la tecnología GPRS descrita anteriormente en el apartado 1.1, que aumentaba la tasa de transmisión de datos.

En Febrero del año 2004 se comenzó a desplegar la tecnología de red 3G, pero esta no cubre enteramente el área nacional, por lo que aún hoy en día se continúan implantando redes 3G en puntos alcanzados solamente por la red 2G.

A partir de 2006, las redes 3G implantadas son en localizaciones concretas, no se limitan únicamente a UMTS, sino que se expanden a redes HSDPA, que proporcionan más capacidad de canal para la transmisión de datos y una mayor velocidad de transferencia.

Actualmente se está llevando a cabo la integración e implantación de redes LTE (tecnología 4G) en diversos puntos de la geografía española, pero el despliegue de esta tecnología no se está realizando de forma homogénea por todas las operadoras de red que prestan servicio en España, sino que cada una lleva un ritmo de trabajo propio, por lo que es pronto todavía para conseguir una cobertura total por parte de redes 4G en toda España.

Gracias a estos cambios a los que se está sometiendo a la red de comunicaciones, se ha alcanzado un objetivo principal de simplificación de la red, ya que años atrás, la arquitectura de la red era distinta a la actual, como se representa en la siguiente figura:

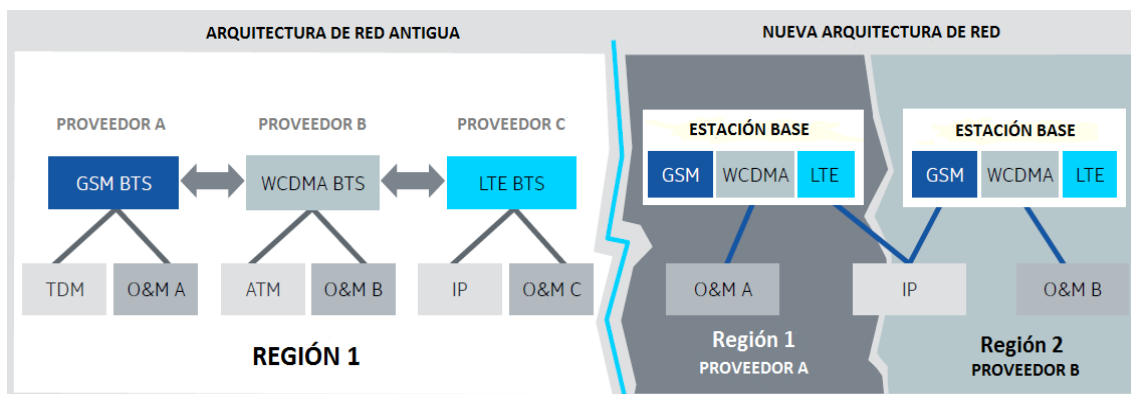


Figura 1.3: Arquitectura antigua y nueva de la red de comunicaciones [6]

El proveedor es la empresa que proporciona los equipos de comunicación capaces de producir la potencia radiada para acceder a la red de comunicaciones, esto es, el dueño de las antenas y los módulos integrados en una estación que permiten conseguir la radiación de las ondas que contienen la información a transmitir.

Como se puede apreciar, antes de llevar a cabo esta modernización de la red, cada proveedor proporcionaba una tecnología de red distinta, por lo que los trabajos y el mantenimiento de la estación debían llevarse a cabo separadamente por tecnologías, es decir, si en una misma estación se proporcionaba acceso a red 2G, 3G y 4G, cada proveedor se ocupaba del mantenimiento de su propia tecnología de acceso, y así en todas las estaciones.

Con el refrescado de red llevado a cabo, se está consiguiendo facilitar los trabajos en la red ya que ahora, un mismo proveedor proporciona todas las tecnologías de red que quieran implantarse en una misma estación base. Así, los trabajos llevados a cabo en esta estación, y de igual forma, su mantenimiento se realiza de forma común en cada estación, lo que implica un abaratamiento de los costes para el operador de red que no tendrá que costear los gastos de los distintos proveedores para una misma estación.

Esta nueva forma de arquitectura de red se llama Single RAN, y está cambiando la organización de la red introduciendo estructuras más simples en las estaciones base, en las que se comparten el medio de transporte de transmisión de datos y el apoyo operativo.

El principal problema de esta estructura es que cada tecnología de red está desarrollada de forma individual y pertenece a un estándar distinto. Las características disponibles en cada tecnología no pueden ser aplicadas al resto, por lo que, para conseguir llegar a esta nueva arquitectura de red, es necesario que todas las tecnologías integradas en una misma estación base sean desarrolladas en paralelo teniendo en cuenta las compatibilidades entre ellas con el objetivo de aprovechar al máximo los beneficios de la estructura Single RAN.

1.3 Estructura de la memoria

Al comienzo de la memoria, se presentan las motivaciones para la realización de este proyecto a través de este Capítulo I, que comprende una introducción desde el marco general de las comunicaciones, e incidiendo cronológicamente en la situación de la red de comunicaciones.

En segundo lugar, en el Capítulo II, se ofrece una clasificación de las redes según distintos enfoques, según su topología, su escala y su tecnología de transferencia. Se distinguen los principales tipos de redes y el entorno en el que son utilizadas según su propósito.

En el Capítulo III se desarrollan tres apartados diferentes. Los dos primeros corresponden a una introducción de forma teórica de las redes 2G y 3G de comunicaciones, con especial atención a los parámetros que se definen en cada uno de los dos tipos de tecnologías y exponiendo la situación de las mismas en la red actual. Además, se explica la distribución de los distintos componentes de la red en cada caso.

El tercer apartado del Capítulo III se dedica al elemento principal a tener en cuenta en la memoria, las antenas, en las que se exponen de forma general los tipos principales y los parámetros más importantes que las definen, que serán esenciales para la posterior explicación de la realización del *swap*.

Posteriormente, en el Capítulo IV, se explica paso a paso, las distintas fases por las que pasa la realización del *swap*, incluyendo ejemplos que permitan una mejor comprensión de la obra a realizar, de forma detallada.

En el Capítulo V se lleva a cabo el seguimiento de la realización de un *swap* en una localización concreta, en el que se distinguen todas las etapas descritas en el bloque anterior. Por motivos de confidencialidad, el seguimiento que se lleva a cabo no incluye nombres reales, ya que se trata de un caso real de un *swap* realizado por el proveedor que da forma a esta memoria, en la red de esta operadora.

En el Capítulo VI se exponen las conclusiones obtenidas a partir de la realización de este proyecto con las ventajas e inconvenientes que se pueden presentar. En el mismo capítulo se propone un futuro trabajo a realizar en la red, como es la modernización de la red de cuarta generación, 4G. De la misma forma que actualmente se está modernizando la red basada en tecnologías de segunda y tercera generación, en un futuro se llevará a cabo algo semejante en las redes 4G que están implantando en puntos concretos de la geografía española algunas de las operadoras de red más importantes de España.

Por último, el Capítulo VII contiene el presupuesto estimado para la realización de este proyecto, y las horas de dedicación necesarias. Esto último se presenta mediante el diagrama de Gantt, que permite mostrar de forma esquemática, y por lo tanto sencilla, la manera en la que se ha realizado este proyecto teniendo en cuenta las distintas etapas de aprendizaje base, puesta a punto, realización del *swap*, optimización de los resultados obtenidos y redacción de la memoria.

Capítulo II: Fundamentos de la red de comunicaciones

La red de comunicaciones surge a raíz de la necesidad de querer conectar dos equipos, primero unidireccionalmente y posteriormente, de forma bidireccional para el intercambio de información. Cada vez se unen más equipos creando esta “red” que continúa creciendo día tras día.

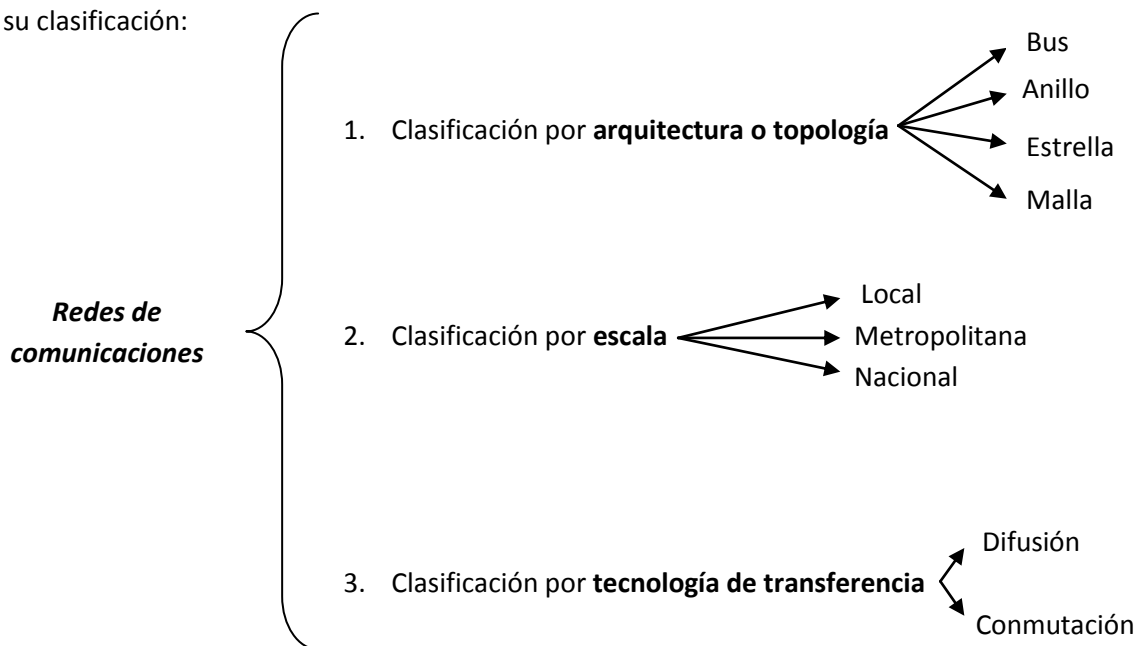
Cada equipo se puede considerar un nodo de la red de comunicación, y los medios de transmisión entre los nodos son los enlaces de interconexión en la red.

Un nodo no tiene que ser necesariamente un ordenador o un teléfono móvil, si no que podemos considerar un nodo cualquier equipo que sea capaz de enviar, transmitir y recibir información que viaja por esta red de comunicaciones.

Los enlaces pueden ser tanto cableados como no cableados. Entre los medios cableados se distinguen la fibra óptica, el par trenzado, el cable coaxial, el híbrido (tramos de cable coaxial y fibra óptica), etc. Los medios de transmisión o enlaces no cableados son aquellos que conectan un nodo con otro a través de ondas que viajan en el espacio, que tienen como enlace físico el aire.

En este trabajo nos centraremos sobre todo en las redes no cableadas, ya que los *swaps* se realizan en las antenas de los emplazamientos a modernizar.

Por tanto, la red de comunicaciones está compuesta por los nodos y los enlaces que los interconectan entre sí. Podemos encontrar diversos tipos de redes de comunicaciones, según su clasificación:



A continuación, se describen los distintos tipos de redes de comunicaciones. [7] [8]

2.1 Arquitectura o topología

Bus: todos los nodos están conectados a un enlace central y cada uno de ellos puede ver la información de los otros nodos.

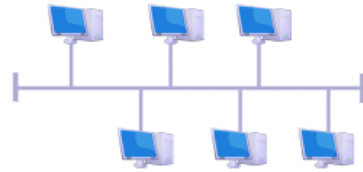


Figura 2.1: Topología en bus [9]

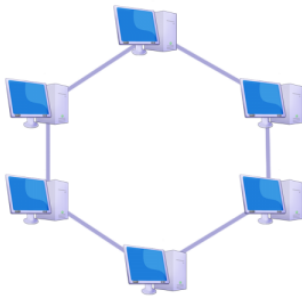


Figura 2.2: Topología en anillo [9]

Estrella: todos los nodos están conectados al *hub* (repetidor) en forma de estrella. Si un nodo se daña, no afectaría al resto, pero si existiera un problema en el *hub*, se caería la red.

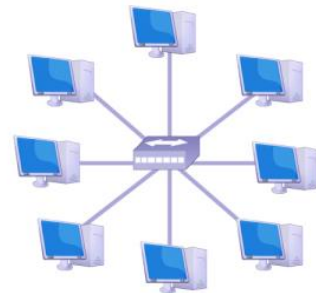


Figura 2.3: Topología en estrella [9]

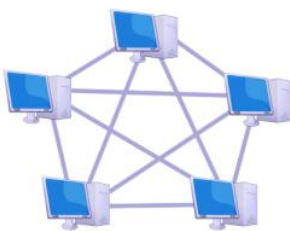


Figura 2.4: Topología en malla [9]

Malla: todos los nodos están conectados con todos. Hay varios caminos posibles para el transporte de la información. Si falla algún nodo, no afecta a la red.

2.2 Escala

- **Local:** se limita a una propiedad privada como una vivienda, un edificio de oficinas o un campus universitario, es decir, está limitado a varios km. En este tipo de red se comparten los recursos existentes (hardware, software, datos). A este tipo de redes se las denomina LAN (*Local Area Network*).
- **Metropolitano:** puede limitarse tanto a una propiedad privada como a una pública. Se conectan los enlaces en una misma ciudad y normalmente está formada por varias redes LAN. Se denominan redes MAN (*Metropolitan Area Network*).
- **Nacional:** al igual que la anterior, puede ser tanto privada como pública, pero este tipo de redes se utilizan en grandes áreas geográficas, permitiendo la transmisión de datos a larga distancia (voz, imágenes, video, multimedia). Se denominan redes WAN (*Wide Area Network*).

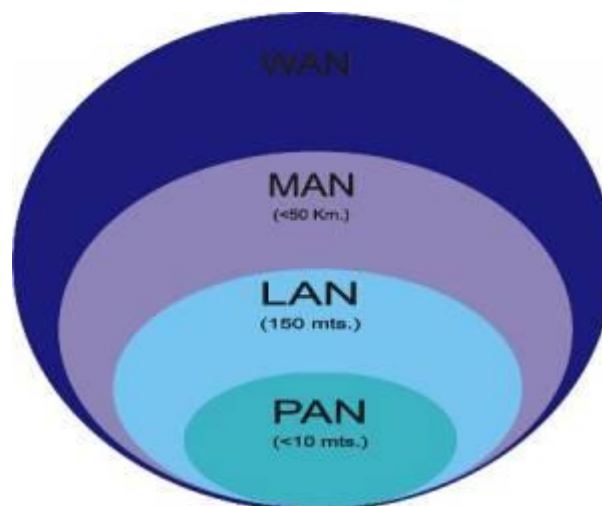


Figura 2.5: Clasificación de redes inalámbricas [10]

- **Personal:** como indica la figura, esta red es privada y de uso personal como su propio nombre indica, por lo que la distancia se ve reducida a un radio menor a los 10 metros. Se denominan redes PAN (*Personal Area network*). [7] [8] [11]

2.3 Tecnología de transferencia

- **Redes conmutadas:** aquellas que están formadas por nodos conectados entre sí mediante enlaces de datos y que ofrecen varios caminos para el envío de la información entre emisor y receptor, es decir, la información se encamina entre un nodo emisor y otro nodo receptor mediante la conmutación de nodos intermedios.

A su vez, este tipo de redes se divide en dos clases, las redes de conmutación por paquetes y las de conmutación por circuitos.

- i. **Conmutación por paquetes:** el nodo origen divide la información en paquetes, en el que cada paquete contiene una cabecera y los datos a transmitir.

En la cabecera de cada paquete podemos distinguir los siguientes elementos: la longitud de la cabecera y del mensaje, *flags* de sincronización, posición de la trama en el envío de información, dirección origen y dirección destino del paquete. Cada paquete puede ser enviado por un enlace independientemente del resto, es decir, no es necesaria la reserva de un determinado camino virtual mediante los enlaces de la red para el intercambio de información.

- ii. **Conmutación por circuitos:** dos nodos se conectan a través de un circuito de tal forma que lo utilizan de forma exclusiva durante la transmisión. En cada nodo, se crea un circuito cerrado entre una entrada y una salida de la red. El mejor ejemplo de una red de este tipo es la de la red telefónica.

- **Redes de difusión:** aquellas en las que los nodos comparten el medio de transmisión sin la existencia de nodos intermedios conmutados, por lo que todos los nodos que se encuentran en el camino obtienen la información enviada por el emisor. [7] [8]

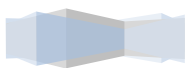
En este proyecto se describen los procedimientos a ejecutar para modernizar la red de comunicaciones y las verificaciones posteriores al cambio de equipos en los emplazamientos en los que se realiza el *swap*. Dado que el *swap* afecta a las tecnologías 2G y 3G, el tipo de red en la que nos encontramos es la red de conmutación tanto de circuitos como de paquetes a nivel metropolitano y con topologías distintas dependiendo del tramo de red específico.

Posteriormente se explicarán por separado los parámetros a tener en cuenta en cada una de las tecnologías, distinguiendo el tipo de red en cada caso.

Cada elemento de la red tiene un papel que interpretar para que se cumpla la finalidad de esta estructura.

La distribución de la red de comunicaciones varía ligeramente dependiendo del tipo de red, es decir, si es una red de 2G o si por el contrario es de 3G.

En los siguientes apartados se presentarán los dos tipos de estructuras, aunque de forma simple, se puede visualizar la estructura de la red como un nido de antenas unidas entre sí y a la vez conectadas con la central telefónica o celular (según corresponda), donde cada antena es capaz de aportar conexión a varios terminales, como pueden ser, teléfonos móviles, ordenadores, tabletas, etc.



Capítulo III: Principios básicos sobre tecnologías de red y elementos del sistema radiante

La estructura de la red de telecomunicaciones presenta tres partes principales:

- **Core:** es la red principal de tránsito, también llamada “*backbone*”. Se encarga de distribuir grandes bloques de información de manera ordenada.
- **Red de acceso:** es la conexión entre las redes locales y el *core*.
- **Red local:** medio por el cual el terminal de usuario queda conectado a la red.

La red local, al estar desarrollando un proyecto de redes inalámbricas, es el aire, que es el medio por el que se conectan los terminales a las estaciones base. Es precisamente esta red local sobre la cual se definen las redes inalámbricas que componen este proyecto, redes 2G y 3G.

El primer punto importante a tener en cuenta es la distribución del territorio en telefonía móvil, que se divide en clústers. Los clústers, a su vez, se dividen de forma celular en celdas. Esto es, el territorio queda dividido en partes más pequeñas de forma aproximadamente hexagonal llamadas celdas. De esta forma, cada celda es un fragmento de territorio al que aporta cobertura una estación. Se define gráficamente en la Figura 3.1:

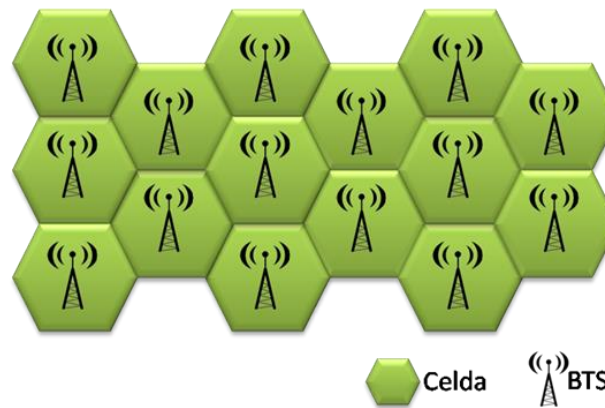


Figura 3.1: Distribución del territorio para comunicaciones móviles [12]

En la imagen anterior se presenta un clúster formado por varias celdas. De esta forma, los límites en las áreas de cobertura quedan marcados por la división entre las celdas. [4] [5] [8]

Cuando un usuario realiza una llamada y cambia de celda, se produce lo que denominamos **handover**, que se explicará detalladamente en el Capítulo IV.

3.1 Tecnología de red 2G

En este apartado se introducen las características principales de la red 2G y el siguiente apartado, el 3.2, se dedicará a la red 3G.

GSM (*Global System for Mobile Communication*) se define como aquel servicio portador constituido por todos los medios de transmisión y conmutación necesarios que permiten enlazar a voluntad dos equipos terminales móviles mediante un canal digital que se establece específicamente para la comunicación y que desaparece una vez que se ha completado la misma.

Los principales servicios que ofrece esta red son:

- Voz digital a una velocidad de 13 kbps máximo.
- SMS (*Short Message Service*), o mensajes cortos, tanto punto a punto como punto a multipunto.
- Servicio de buzón de voz, en el que se guardan los mensajes de llamadas recibidas en las ocasiones en las que el terminal se encuentre apagado o fuera de cobertura.
- MMS (*Multimedia Messaging System*), o mensajes multimedia, en la que además de texto, es posible enviar archivos como imágenes, audio y vídeo.

A modo de esquema, se representa en la Figura 3.2 la estructura de la red 2G:

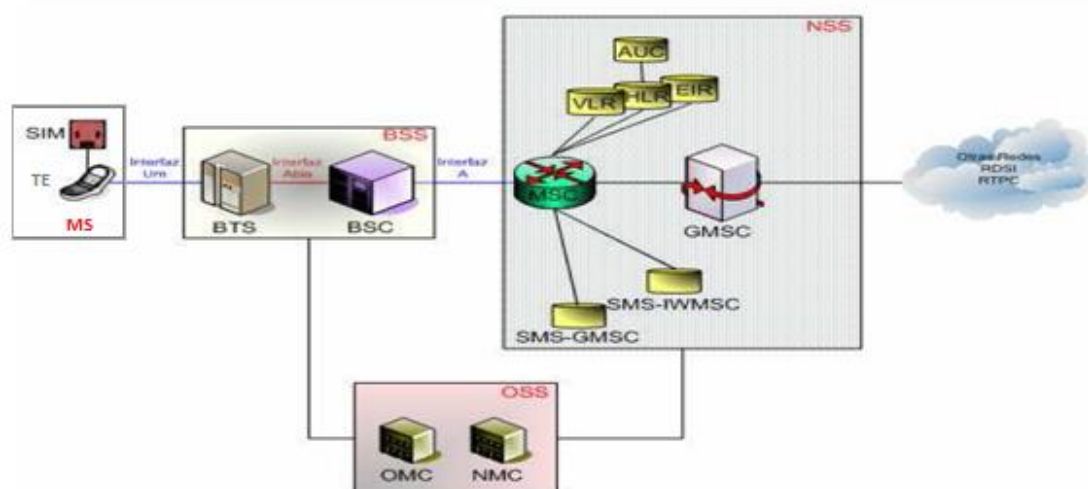


Figura 3.2: Arquitectura de red 2G [13]

Como se aprecia en la imagen anterior, se distinguen cuatro bloques principales de acción en la red 2G:

1. **NSS:** (*Network Switching Subsystem*), o subsistema de conmutación de red, que es el encargado de gestionar todas las funciones de establecimiento de llamada, mantenimiento de la misma y por último, la liberación de la línea al finalizar la comunicación.

Este subsistema está compuesto por:

- **MSC:** (*Mobile Switching Center*), se encarga de la autenticación de la llamada, asegurar la confidencialidad de los datos del usuario que realiza la llamada y mantener activa la llamada tanto si el usuario se mantiene dentro de una misma celda como si se mueve y cambia de celda.
 - **GMSC:** (*Gateway MSC*), es la pasarela que conecta la MSC con otras redes.
 - **AUC:** (*Authentication Center*) se encarga de comprobar que el usuario que realiza la llamada está correctamente definido en la base de datos mediante la verificación de la tarjeta SIM del llamante.
 - **VLR:** (*Visitor Location Register*), es un registro que contiene la información personal del usuario temporalmente. Cuando se realiza *handover* y se cambia de MSC, el VLR informa de los datos del usuario a la nueva MSC.
 - **HLR:** (*Home Location Register*), registro que contiene permanentemente los datos de los usuarios, como la información sobre su localización y los servicios que tiene contratados. Cada usuario se identifica en el HLR con el número MSISDN (*Mobile Station ISDN Number*), que está formado por el prefijo internacional del país, prefijo nacional y el número de abonado. ISDN es la red actual a la que pertenece el NSS.
 - **EIR:** (*Equipment Identity Register*), se encarga de comprobar que el número IMEI del usuario es válido. En su base de datos se encuentran los IMEIs correctos y verifica si el del usuario que realiza la llamada está en esa lista. La base de datos contiene tres listas de IMEIs: *White List*, que contiene los IMEIs de los usuarios de todos los países con los que puede hacer roaming, *Black List*, con los IMEIs bloqueados y *Grey List*, con los IMEIs definidos como defectuosos.
 - **SMS-GMSC:** (*Short Message Service Gateway Mobile Switching Center*), que se encarga de la terminación de los SMS.
 - **SMS-IWMSC:** (*Short Message Service Inter-Working Mobile Switching Center*), que se encarga de originar los SMS.
2. **OSS:** (*Operation and Support Subsystem*) Subsistema de operación y mantenimiento. Es el sistema por el cual el operador de red controla, monitoriza y ofrece un correcto funcionamiento de la red a los usuarios. Se compone a su vez de:
- **OMC:** (*Operation and Maintenance Center*), que permite la conexión entre la BSC y el NSS.

- **NMC:** (*Network Management Center*), es el centro de gestión de red y se encarga de controlar el funcionamiento de la red.
3. **BSS:** (*Base Station Subsystem*), se encarga de proveer cobertura a un área limitada y conecta al usuario con la red mediante el interfaz aire. Se ocupa del establecimiento, mantenimiento, control y supervisión de llamadas, y de la localización del usuario. Se compone de los siguientes bloques:
- **BTS:** (*Base Transceiver Station*), es el principal sistema encargado de transmitir y recibir información.
Está formada principalmente por un bastidor situado generalmente en el interior de una caseta, junto con los diplexores, transceptores para cada sector de la BTS, multiacopladores y el sistema de cableado que será fibra óptica o cable coaxial para las antenas de la BTS.
La misión de la BTS es muy importante ya que mantiene la conexión entre el usuario y la MSC, de tal forma que la MSC pueda controlar la llamada. Además, la BTS supervisa la ROE (Relación de Onda Estacionaria), que nos indicará una posible desadaptación de impedancias en la estación, revisa la calidad de las llamadas, se encarga de realizar el cambio de frecuencia y de encriptar la información transmitida para proteger la comunicación.
 - **BSC:** (*Base Station Controller*), puede estar conectada a una o varias BTS y se encarga de la monitorización de la llamada. Además, es la responsable de la elección de la celda que mejor se adapte al usuario, establece los parámetros de la celda a la que se conecta el usuario, y realiza los *handovers*.
4. **MS:** (*Mobile Station*), sistema que aporta al usuario los servicios ofrecidos por la red. Sus funciones principales son: conexión entre usuario y BTS, transmisión y recepción de la información, conversión analógica/digital de la voz, sintonización de la frecuencia de comunicación, realizar el seguimiento de la localización del usuario. La MS está formada por:
- **TE:** (*Terminal Equipment*), es el terminal del usuario, el que permite la realización de llamadas y envío de SMS y MMS. Cada terminal se identifica por su IMEI (*International Mobile Equipment Identity*), formado por varios dígitos, que indican el tipo de licencia, el fabricante, el número de serie y un dígito para comprobar que el IMEI es correcto.
 - **SIM:** (*Suscriber Identity Module*), es una tarjeta inteligente para los terminales de la red GSM.

Almacena la siguiente información: la identificación internacional de la tarjeta, el IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*), para la identificación del usuario a nivel internacional, el TMSI (*Temporal Mobile Subscriber Identity*), como identificación temporal, códigos PIN y PUK, para desbloquear la SIM, la Ki (clave de algoritmo de autenticación), que es única y depende del operador de red, el algoritmo de autenticación A3, el algoritmo de generación de claves de cifrado A8, algoritmo de cifrado A5, y la clave del algoritmo de cifrado Kc. [12] [13]

Hay dos frecuencias de portadora principales para la red GSM, definidas como GSM900 y GSM1800, esta última también llamada DCS. Por tanto, en este proyecto se hablará de celdas GSM y DCS para hacer referencia a los sectores de la BTS que aportan cobertura a un área determinada.

3.2 Tecnología de red 3G

En el año 2000, se repartieron las licencias para el uso de esta tecnología entre los principales operadores de red en España, siendo uno de los primeros países en implantar la tecnología 3G en Europa.

La introducción de esta nueva tecnología se impone como una mejora respecto a las tecnologías de segunda generación, ofreciendo mayores servicios como son: acceso a Internet, transmisión de imágenes, audio y vídeo en tiempo real, *roaming* internacional, servicios de banda ancha, videoconferencias e interoperatividad a una velocidad máxima de 2Mbps.

La tecnología UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Service*), presenta como la diferencia más notoria respecto a la red GSM, el gran aumento en la tasa de transmisión alcanzable. Además, otra característica que se ha incluido en la segunda versión de UMTS, es el cambio de conmutación de circuitos a conmutación de paquetes.

UMTS está basado en el estándar GSM, por lo que son redes compatibles entre sí.

Respecto a la estructura de la red UMTS, se presentan algunos cambios respecto a GSM, como podemos ver en la figura siguiente:

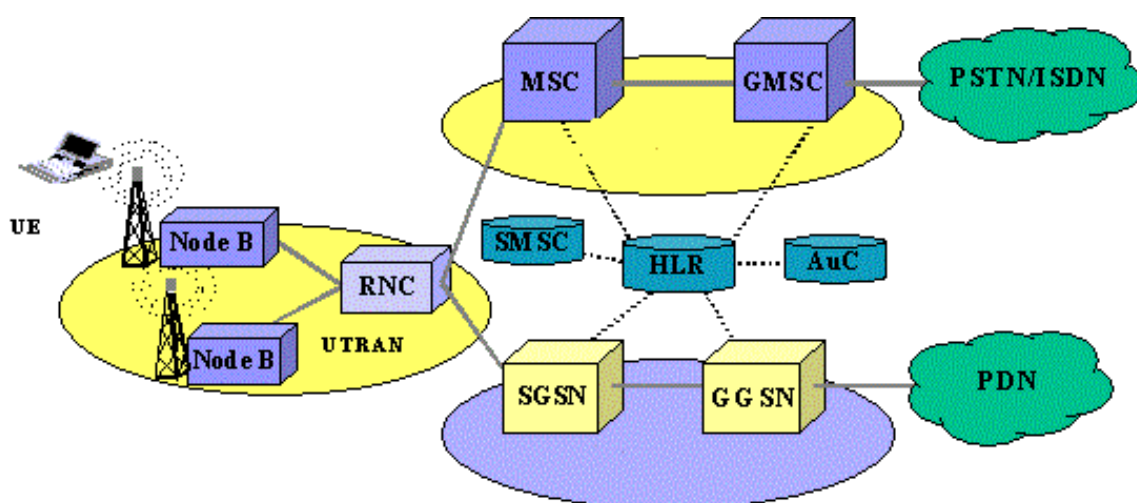


Figura 3.3: Arquitectura de red 3G [14]

La UTRAN es la red de acceso radio (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*). La arquitectura de esta red se puede dividir en tres grandes bloques:

1. **Red troncal:** formada por el MSC, el GMSC, el SGSN, el GGSN, el EIR, el HLR y el AUC. De todos estos componentes, algunos soportan conmutación de circuitos, como son el MSC y el GMSC, otros soportan conmutación de paquetes, que son el SGSN y el GGSN, y algunos soportan ambos tipos, siendo éstos el EIR, el AUC y el HLR.

2. **Red de acceso radio:** UTRAN, en la que se incluyen nuevos elementos como son el RNC (*Radio Network Controller*), que es el controlador de la red del que pueden colgar uno o varios nodos B. La RNC en UMTS equivaldría a la BSC de la red GSM; de la misma forma, el nodo B sería el homólogo de la BTS en GSM. Las funciones de ambos componentes son prácticamente idénticas a los de GSM, aportando el servicio de la red a las celdas correspondientes. De esta forma, se pueden aprovechar los recursos de la red 2G para instalar los nuevos componentes de la red 3G.
3. **Terminal móvil:** UE, compuesto por el terminal en sí y la tarjeta USIM, que equivale a la tarjeta SIM de la red GSM. Las funciones de ambos componentes son las mismas que en el caso del terminal y la tarjeta SIM para redes 2G. Esta tarjeta USIM estará insertada en el terminal móvil del usuario de la red. [12] [14]

De esta forma, quedan explicadas brevemente en qué se basan las dos principales tecnologías a las que se hace mención en esta memoria.

En el caso de redes UMTS, hay que distinguir dos tipos de celdas según su frecuencia. La tecnología más extendida en España es la de UMTS900, que nombraremos como U900 a partir de ahora, y la red UMTS2100, definida como U2100. En los nodos de 3G podemos distinguir ambos tipos de celdas. La primera de ellas se encuentra en la frecuencia de 900 MHz, mientras que las celdas de U2100, se encontrarán en la frecuencia de portadora de 2100 MHz.

3.3 Elementos del sistema radiante

A continuación se describirá uno de los elementos más importantes a tener en cuenta en el proceso del *swap*, las antenas. Al realizar el cambio de un equipo antiguo por uno nuevo, las antenas son el principal elemento en el sistema ya que son las que hacen posible la radiación de las ondas electromagnéticas y por lo tanto, las encargadas de emitir la potencia necesaria para que la información llegue al terminal o a los terminales correspondientes.

3.3.1 Antenas

Una antena es un dispositivo cuya misión es servir tanto de emisor como receptor de una señal de radio. El funcionamiento básico es que cuando la antena actúa como sistema emisor, es capaz de convertir una señal eléctrica en una onda electromagnética, que como sabemos, es el medio por el que se transmite la información a través del espacio. De igual forma, al ser utilizada como equipo receptor, es capaz de convertir las ondas electromagnéticas recibidas en señales eléctricas.

Existen diversos tipos de antenas que se pueden clasificar atendiendo a su estructura física, a su direccionalidad, y a sus aplicaciones. A continuación se definirán algunos de estos tipos de antenas con el motivo de abordar posteriormente algunos problemas cuya solución depende precisamente, del tipo de antena utilizada, pese a que todas ellas cumplen el mismo objetivo definido anteriormente.

Una primera clasificación se puede hacer distinguiendo entre antenas bidireccionales y antenas semidúplex. Las primeras son aquellas que permiten que la comunicación fluya en las dos direcciones, es decir, emisor-receptor y receptor-emisor al mismo tiempo. El segundo tipo son aquellas antenas en las que esta comunicación bidireccional no se produce de forma simultánea, sino que se realiza alternativamente.

Además de la clasificación anterior, se van a definir tres tipos de antenas según su directividad y su aplicación: [15]

- **Antenas isotrópicas**

Las antenas isotrópicas, estrictamente hablando, no existen, pero se considera una antena capaz de radiar en todas direcciones en cualquier plano del espacio. Es importante la definición de antena isotrópica dado que la mayoría de los parámetros de las antenas se fundamentan en los valores de los mismos con respecto a una antena ideal, como es la isotrópica.

El diagrama de radiación de una antena isotrópica se muestra en la Figura 3.4, tal como hemos definido antes.

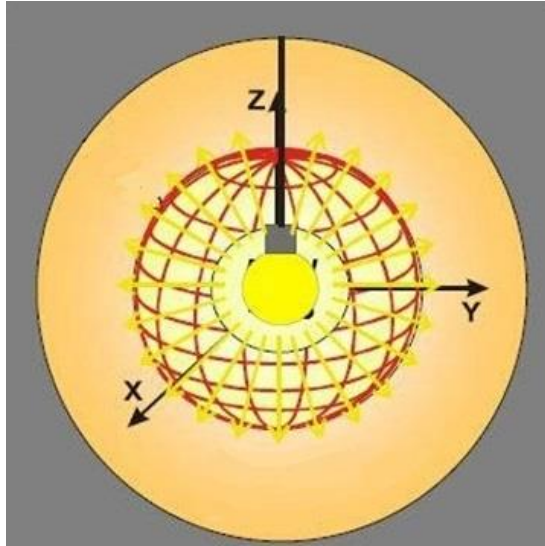


Figura 3.4: Diagrama de radiación de una antena isotrópica [16]

- **Antenas omnidireccionales**

También se les puede llamar antenas de *fuste vertical*. El prefijo “omni” significa totalidad, por tanto omnidireccional indica que la antena radia en todas las direcciones. Sin embargo, la afirmación correcta es que una antena omnidireccional es aquella en la que las ondas se propagan en todas las direcciones, es decir irradian en los 360°, con la misma intensidad en el plano perpendicular al eje de la antena, pero no en los extremos del eje de la misma.

La ganancia de estas antenas se sitúa en torno a los 15 dB. Su uso es indicado tanto para espacios interiores como exteriores, aunque es más común encontrarlas en espacios abiertos.

En la Figura 3.5, vemos como es la estructura de una antena omnidireccional y la forma en que radia este tipo de antenas, de forma circular entorno a su eje.

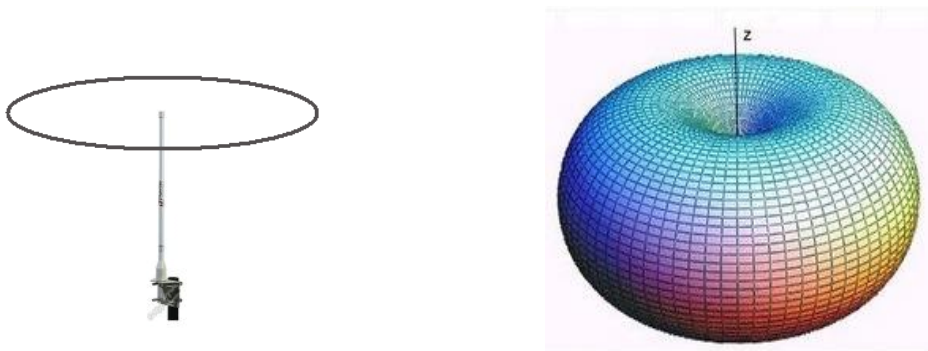


Figura 3.5: Antena y diagrama de radiación de una antena omnidireccional [17]

En la Figura 3.5, vemos el diagrama de radiación de una antena omnidireccional, donde se puede apreciar que las ondas se transmiten en torno al eje de la antena, el eje z como viene expuesto en la imagen, y en el plano perpendicular a él en todas direcciones.

La distancia máxima o alcance de las ondas dependerá de muchos factores, entre los cuales se incluye la propia ganancia de la antena y la potencia de transmisión a la que se diseñe el sistema, que definiremos posteriormente.

- **Antenas direccionales**

También llamadas antenas directivas, son antenas en las cuales el ancho del haz es muy estrecho, y por tanto la distancia máxima a la que son capaces de radiar es muy grande. La ganancia de estas antenas varía entre los 20 dB y los 30 dB.

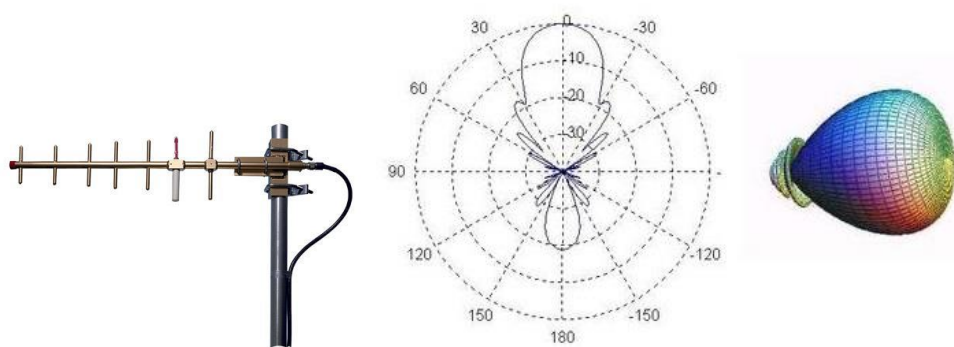


Figura 3.6: Estructura y diagrama de propagación de una antena direccional [18]

El tipo de antena direcciva más común es la antena “Yagi”, que son las que podemos encontrar en el tejado de la mayoría de los edificios, aunque también son antenas directivas las “biquad”, las de bocina, las helicoidales, las antenas “patch”, los platos parabólicos, y muchas otras.

- **Antenas sectoriales**

Las antenas sectoriales, son también antenas directivas pero la diferencia con las anteriores es que éstas irradian principalmente en un área específica. El ancho de haz es mayor que en las antenas direccionales, variando entre los 60° y los 180°, por lo que el alcance máximo o área de cobertura es menor que en el caso anterior. También la ganancia de estas antenas suele ser menor y por tanto, se utilizan para enlaces a distancias más cortas que las antenas directivas, teniendo una ganancia de aproximadamente 22 dB.

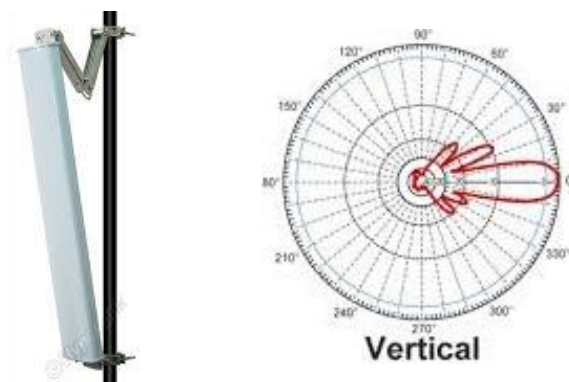


Figura 3.7: Estructura y diagrama de radiación de una antena sectorial [19]

Como podemos ver en la Figura 3.7, el diagrama de radiación de la antena sectorial es más estrecho que en el caso de las antenas direccionales como las Yagi, por lo que la distancia de alcance es mayor.

Además, las antenas sectoriales se pueden programar para que apunten a un ángulo u otro. A continuación se explicará el ángulo azimut, que es el parámetro que permite medir esta colocación de la antena. También se pueden dirigir para que apunten más hacia arriba o hacia abajo. En el capítulo IV, se dará a conocer las ventajas e inconvenientes de este direccionamiento de la antena. [15] [16] [17] [20]

Como anexo a los tipos de antenas, existen unas antenas especiales llamadas antenas *réflex*. Esta clase de antenas se emplean para aumentar la cobertura en un área determinada en una dirección determinada. Visualmente pueden aparentar ser una antena sectorial más, pero sin embargo, una antena *réflex* suele ser independiente del resto de antenas sectoriales. Normalmente, se destina uno de los sectores de la antena para integrar estas antenas *réflex*, como si fuera un sector más. Por ejemplo, al numerar los sectores de una antena, diremos que tiene 5 sectores y que uno de ellos se emplea para situar una antena *réflex*. El *réflex* va conectado a un módulo del sistema distinto al resto de sectores. En la Figura 4.4, se puede ver un ejemplo del esquema de la organización de un emplazamiento que incluye una antena *réflex* en uno de los sectores.

Además de los tipos de antenas, todas ellas comparten una serie de parámetros que las caracterizan y que necesitaremos tener en cuenta a la hora de la realización del *swap*, ya que cada uno de ellos tienen un papel distinto y los valores que toman definirán el resultado de las ondas radiadas que emiten las antenas y por lo tanto, permiten obtener los resultados buscados. Distinguimos los más importantes:

- **Ganancia**

Es el cociente entre la intensidad de campo eléctrico que produce una antena en un punto determinado y la intensidad de campo en ese mismo punto producida por una antena isotrópica. La unidad de medida de la ganancia son los decibelios (dB).

La fórmula para hallar la ganancia de una antena es la siguiente:

$$G = 4\pi \frac{I}{P_t} ,$$

donde I es la intensidad de radiación y P_t es la potencia total de entrada.

En una antena isotrópica, como es ideal, la intensidad de campo en cualquier punto del espacio sería igual a la potencia de entrada en la antena.

Las prestaciones de la antena mejoran proporcionalmente con el aumento de la ganancia de la antena.

- **Relación señal ruido**

Es el cociente entre el valor de la señal en un punto y el valor del ruido en ese mismo punto. En una antena ideal el ruido no existiría, pero al hablar de antenas reales debemos tener en cuenta el ruido que conlleva la propagación de la onda en el espacio, por lo que cuanto mayor sea el resultado del cociente, mejor será la antena, pues mejor será la calidad de la señal.

La señal a ruido se mide en dB, en escala exponencial, por lo que el significado del resultado es que si la señal a ruido es de 10 dB, es que la señal es 10 veces mayor que la del ruido, siendo que 20 dB resultaría en que la señal es 100 veces mayor que la del ruido.

- **Potencia transmitida**

Es la potencia en dBm de la antena. Se toma como referencia 1 mW (1 milivatio) como potencia mínima de una antena.

De esta forma, 1 mW de potencia corresponde a 0 dBm. Los niveles máximos de potencia de radiación permitidos de una antena varían dependiendo del país en el que nos encontremos, siendo en España en el año 2013 según el *Reglamento de uso del dominio público radioeléctrico para radioaficionados* [21], de 1000W para los radioaficionados y sin límite para el uso de la red radioeléctrica para las compañías de telecomunicación, aunque éstas quedan limitadas por el consumo eléctrico y el impacto ambiental que producen las ondas electromagnéticas.

- **Patrón de radiación**

Tal y como hemos visto previamente en los diagramas incluidos en cada tipo de antena, el patrón de radiación es una gráfica, representada en los ejes de coordenadas que representa de manera aproximada la radiación emitida por una antena.

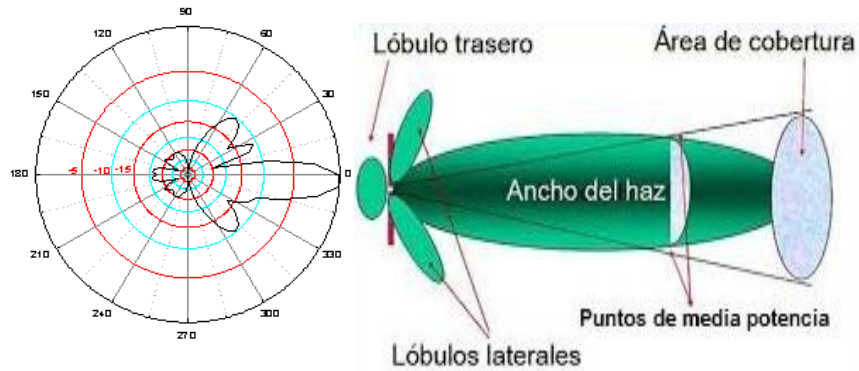


Figura 3.8: Patrón de radiación de una antena [22]

En esta gráfica podemos apreciar, dependiendo siempre del tipo de antena, la dirección de las ondas electromagnéticas, el ancho de haz que produce la antena al emitir las ondas y los lóbulos secundarios. Cuando una antena radia en una dirección, se forma el lóbulo principal, que apunta a la dirección de máxima radiación de la antena, y además, se producen unas pérdidas, pues ningún sistema es perfecto, que forman los lóbulos secundarios, tal y como se puede apreciar en la Figura 3.8. [14]

- **Polarización**

Como hemos hablado antes del patrón de radiación, la polarización de la antena es una característica muy importante dependiendo del objetivo buscado. La polarización de una antena nos va a indicar cómo se propaga la radiación emitida por la antena en el campo eléctrico y magnético.

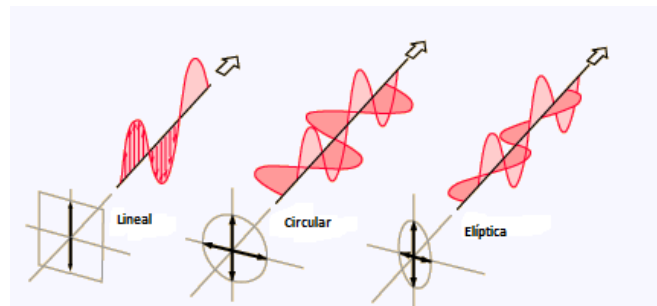


Figura 3.9: Tipos de polarización [23]

Diremos que la antena tiene polarización lineal vertical cuando el patrón de campo eléctrico es vertical con respecto al horizonte de la tierra.

Tendrá polarización lineal horizontal cuando este campo es paralelo al horizonte.

Polarización circular cuando el campo resultante forme círculos al girar desde la polarización vertical a la horizontal o al revés.

Por último, la polarización elíptica, se dará en el caso en el que el campo proceda de la misma forma que en el caso anterior, pero no se produzca con la misma fuerza en todas las direcciones. [24]

- **Azimut**

El azimut y la altura son las coordenadas que se utilizan para definir la posición de un cuerpo en el espacio.

La altura se medirá respecto a la superficie terrestre.

El azimut es el ángulo que forma el cuerpo que estamos observando en el espacio con respecto al Norte geográfico, girando en sentido horario. El norte geográfico es el punto de intersección de los husos en los que se divide el globo terráqueo al norte del mismo.

Respecto a la posición de una antena, este ángulo es una pieza clave para conocer cuál es la posición exacta en el plano horizontal. Además, en las antenas sectoriales, nos encontramos en la mayoría de los casos con que cada sector está en un azimut distinto, o dicho de otra forma, cada sector apunta a una dirección concreta que se define mediante el ángulo azimut.

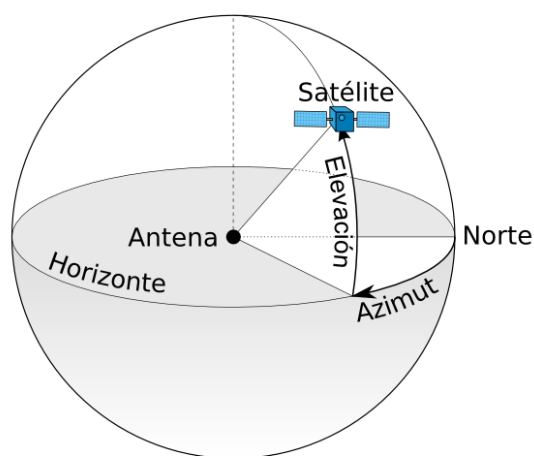


Figura 3.10: Representación del ángulo azimutal [25]

Para cada tipo de antena, el azimut tomará unos valores distintos. [26]

En este proyecto, se tomará el valor 0 de azimut cuando nos encontremos en una antena omnidireccional, puesto que el patrón de radiación de este tipo de antenas, como se ha explicado antes, es de forma circular en el plano horizontal y por tanto, apunta en todas direcciones en este plano.

Sin embargo, si nos referimos a una antena direccional, ésta estará apuntando a una dirección concreta y por lo tanto, el valor del ángulo azimut se tomará como se ha explicado antes, con respecto al norte geográfico. Al ser un ángulo, puede tomar valores entre 0 y 360 grados.

En la Figura 3.10, vemos un ejemplo de cómo se mediría el ángulo azimutal y la altura de un satélite si el punto de referencia es una antena. Como se puede observar, el ángulo azimut crece en el sentido de las agujas del reloj, desde el norte.

Si nos referimos al ángulo azimut de una antena, simplemente se podrá medir si nos situamos en la misma posición que la antena mirando hacia el norte y girando el ángulo hasta alcanzar la dirección a la que está apuntando la antena.

Un ejemplo práctico y muy común en este proyecto para entender mejor a que nos referimos cuando hablamos del azimut de una antena, es el caso de una estación base en que tengamos tres antenas sectoriales, cada una apuntando en una dirección distinta con el objetivo de cubrir totalmente un área alrededor de la antena. En este caso, se podría originar la duda de por qué se decide implantar tres antenas sectoriales en la estación en lugar de implantar simplemente una antena omnidireccional.

La respuesta es que las antenas omnidireccionales suelen integrarse en áreas donde el área de cobertura que se quiere cubrir es más pequeña que la que se consigue cubrir con tres antenas sectoriales apuntando a diferentes direcciones.

Así, permite conseguir el mismo objetivo de cubrir toda un área en redondo alrededor de la BTS, pero aportando mayor área de cobertura, debido a que las distancias que alcanza una antena sectorial es mayor que la de una antena omnidireccional.

Siguiendo con el caso, cada uno de los sectores de la antena tendrá un azimut distinto, dependiendo la dirección a la que apunte. Es muy común encontrar que los sectores de este tipo de nodos tengan azimuts de 0º, 120º y 240º, ya que cada sector cubriría un tercio del área alrededor del nodo.

En cada BTS, encontramos un caso distinto, por lo que se indicará siempre el tipo de antena con que estemos trabajando y los azimut si la antena dada fuese direccional.



Capítulo IV: Swap de un sistema de comunicaciones

Empezaremos definiendo qué es un *swap* de la red. El verbo *swap* significa cambiar, por lo que un *swap* de la red de comunicaciones es básicamente un cambio que se realiza en la red.

Este “cambio en la red”, que de ahora en adelante continuaremos nombrando como *swap*, se realiza cuando un operador de telefonía quiere cambiar el sistema radiante en una localización concreta del entorno en el que está actualmente transmitiendo ondas electromagnéticas por un sistema nuevo. Es muy común, que los *swaps* se realicen con el cambio de una marca de antenas por otra distinta, es decir, que el proveedor sea distinto. Pero no se cambiará únicamente la antena, sino que en algunos casos, dependiendo del estado previo del sistema y del objetivo marcado por el operador de red, puede ser necesaria la implantación de nuevos amplificadores, transceptores, la ampliación de un sector en el nodo, etc.

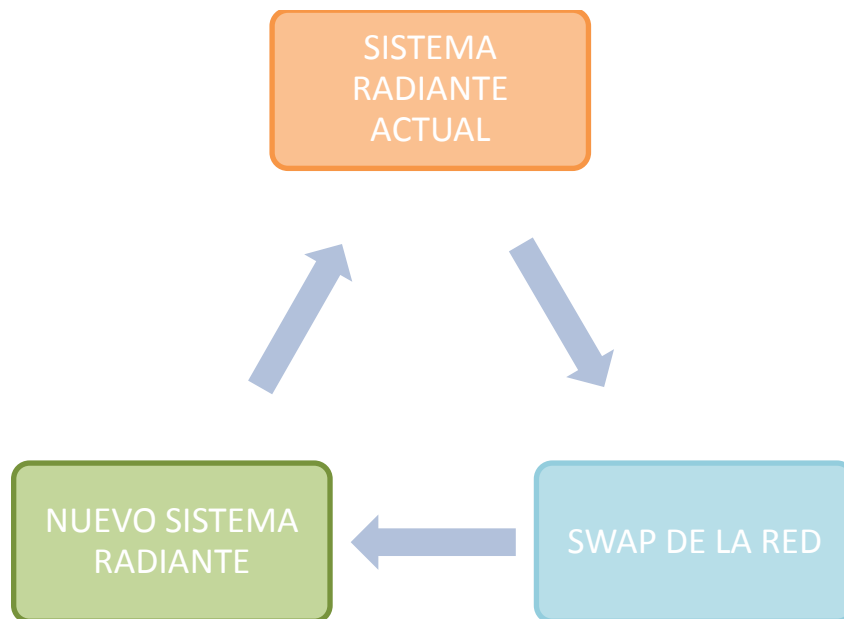


Figura 4.1: Ciclo de la red de comunicaciones

En la Figura 4.1, se explica de forma esquemática lo que significa este cambio de la red. Existe un sistema actual que irradia potencia en unas determinadas áreas y con unas características definidas por el operador de red que ha implantado este sistema.

Cuando el operador quiere modernizar la red, realiza un *swap* en la red de comunicaciones con lo que se obtiene un nuevo sistema radiante que proporcionará nuevos servicios y mejoras con respecto al viejo sistema. Este nuevo sistema pasa entonces a ser el sistema radiante actual en la red de comunicaciones.

Como se puede apreciar en la imagen, este cambio es en realidad un ciclo en la red, pues la tecnología avanza de forma exponencial y cada día se descubren nuevos métodos que mejoran los sistemas de comunicaciones.

Este proyecto no profundiza en todos los pequeños cambios que se hagan en el sistema radiante sino que se centra en los resultados del *swap* de la red de comunicaciones y en cómo se mejoran las prestaciones del servicio proporcionado por la operadora después del *swap*, además de estudiar distintas soluciones a los problemas que se pueden presentar después del trabajo realizado.

Las causas por las que se realizan estos *swaps*, son principalmente la mejora en la red de comunicaciones para ofrecer mejores prestaciones a sus clientes y que los resultados sean óptimos, de manera que todos los usuarios puedan disfrutar de la red de comunicaciones y que tengan acceso a todos los servicios que se ofrecen sin que existan problemas de conexión, falta de cobertura, baja velocidad de transmisión de los datos, etc.

Como se ha mencionado al comienzo de este trabajo, la red de comunicaciones es muy amplia, y por tanto, para conseguir cambiar esta red, hay que realizar cambios en cada una de las estaciones bases que componen la red del operador que va a realizar el *swap*, para conseguir un cambio completo de la red y que no se pierdan las vecindades definidas entre distintas celdas.

De forma simplificada, se va a explicar el proceso a llevar a cabo en una sola estación base para completar el *swap* de dicha BTS. Posteriormente, se profundizará en cada uno de estos pasos, especialmente en la revisión post-*swap*.

Los pasos a seguir para que la obra se realice en la BTS, son los siguientes:

- i. Un técnico de antenas acude al emplazamiento donde se encuentra la BTS, para observar cómo está compuesto el sistema, el número de antenas que hay, el tipo de estas antenas, el sistema de cableado, las condiciones de la estación en el emplazamiento, el área de cobertura que radia la antena, etc. Una vez revisada la localización, se redacta lo que se conoce como “*acta de replanteo*” con los datos obtenidos en la observación del técnico. El acta de replanteo contendrá todas las características del antiguo sistema y las posibles mejoras a realizar en la BTS al implantar el nuevo sistema.
- ii. Se estudia minuciosamente la situación en que se encuentra el actual sistema en el emplazamiento y se diseña el nuevo sistema radiante para conseguir el objetivo indicado por el cliente, que en este caso es el operador de red que está llevando a cabo el *swap* de la red.

- iii. Un especialista en medidas de radiofrecuencias realizará las pruebas que llamaremos *drive tests*. Esto es, la persona encargada de esta tarea, debe tomar medidas en el área de cobertura del actual sistema radiante. Estas medidas serán principalmente la definición de los límites de cobertura de la celda, la calidad de la llamada en este área, el tráfico medio de la celda en un día, el número de llamadas caídas en un día, el nivel de señal a ruido de la antena, la velocidad de bajada y subida de datos móviles, en definitiva, midiendo lo que se denominan KPIs (*Key Performance Indicator*) del sistema radiante. Los KPIs son los puntos principales en los que se centra este proyecto y que explicaremos uno a uno posteriormente. Una definición de KPI es: “medición cuantificable, acordada de antemano, que refleja los factores críticos de éxito de una organización. Los KPIs serán diferentes dependiendo de la organización.” [27]
- iv. Se realiza el *swap* con todo el diseño desarrollado previamente, implantando el nuevo sistema en la localización definida y se ejecutan los cambios en todo el sistema que se hayan descrito en la hoja de replanteo conforme a lo especificado por el operador de red.
- v. Durante la realización del *swap*, se monitorizan los cambios a realizar, de forma que no haya problemas graves debido a la obra realizada. Un problema grave sería la pérdida de tráfico en el emplazamiento, o el aumento del número de llamadas caídas, debido a cualquier error que se pueda cometer en el cambio del sistema radiante. Esta monitorización permite advertir de un posible fallo en un espacio corto de tiempo en el que no cause excesivos problemas a los usuarios de la red. Se revisarán algunos KPIs básicos que permitan la continuación o el bloqueo de la estación base con respecto a los siguientes pasos dados a continuación.
- vi. Se llevan a cabo de nuevo medidas de *drive test* que ayudan a comparar el estado del emplazamiento antes y después del *swap* realizado.
- vii. Revisión de la obra post-*swap*. Gracias a las medidas obtenidas en los *drive test* previas y posteriores al *swap*, se realizan chequeos de los KPIs y se llevan a cabo los cambios convenientes para conseguir el resultado óptimo a petición del cliente, que es el operador de red, y si fuese necesario, se realizarían tareas de rediseño de la localización a valorar para llegar al estado óptimo.
- viii. La idea de realizar un *swap* en la red, no se limita únicamente a una BTS, sino a un territorio completo. Un clúster está formado por un grupo de estaciones base y generalmente va unido a un territorio específico. Un ejemplo de clúster, puede ser el que está formado por las estaciones pertenecientes al territorio de Cuenca. Para llegar a la aceptación de clúster, es necesario que hayan sido aceptadas por el cliente, todas las localizaciones que lo conforman.
- ix. El proyecto finalizará cuando todos los clústeres estén aceptados y se cumpla toda la parte de gestión de los emplazamientos.

Presentamos, a modo de esquema, los pasos a seguir para completar el *swap* de un emplazamiento concreto.

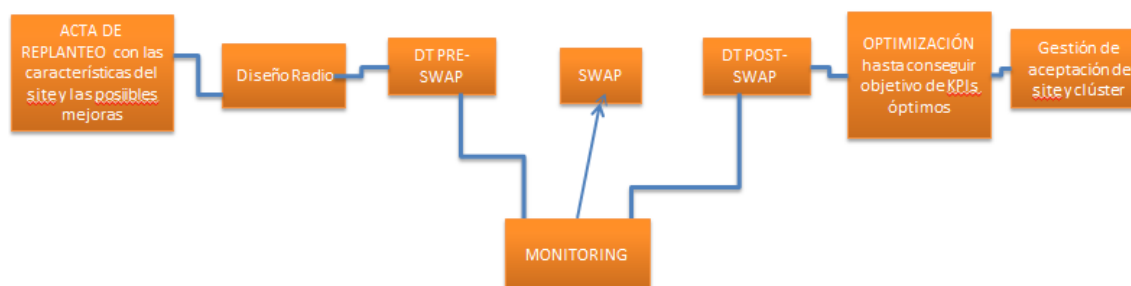


Figura 4.2: Esquema de los pasos a ejecutar para realizar el *swap* en un *site*

Como hemos dicho, el proceso de un *swap* es tedioso y conlleva muchas partes implicadas, por lo que todo el proceso debe estar perfectamente documentando, siendo necesario que se reflejen todos los cambios llevados a cabo desde el inicio del acta de replanteo hasta la total aceptación por parte del cliente.

El último paso es el que cierra definitivamente el proyecto, y por tanto, el cliente debe quedar satisfecho con los resultados obtenidos, de lo contrario, se debería ejecutar un nuevo cambio que permitiera alcanzar los resultados requeridos. Este proceso se debe repetir hasta la total aprobación del operador de red.

Cada uno de los bloques representados en el esquema lleva consigo una enorme carga, que resumiremos a continuación, comenzando desde el primer contacto con la localización, la creación del acta de replanteo.

Los elementos del esquema en los que se centra este proyecto son los de monitorización y optimización, en los que profundizaremos un poco más y se llevarán a cabo las pruebas a realizar en los emplazamientos correspondientes.

4.1 Acta de replanteo

Como se ha definido previamente, el acta de replanteo es un documento que incluye todos los datos necesarios para conocer la situación de la localización, los componentes de la estación base, el tipo de antenas, los elementos del sistema radiante, las medidas de cada uno de los componentes, etc. En definitiva, todos los datos obligatorios para poder diseñar el nuevo sistema radiante y poder estudiar los posibles cambios a realizar para llevar a cabo el *swap*.

A continuación, en las Figuras 4.3 y 4.4, se podrá ver un ejemplo de un acta de replanteo de un emplazamiento, y los datos a introducir para completarlo.

ACTA DE REPLANTEO PROYECTO							
NOMBRE DEL SITE	SITE A						
CÓDIGO SITE	XXXX	FECHA REPLANTEO	09/07/2015	PROPIEDAD	OPERADORA DE RED X		
DIRECCIÓN	DIRECCIÓN DE LA BTS						
ACCESO RECINTO	SI ESTÁ VALLADA O CERCADA	ACCESO CASETA	TIPO DE SEGURIDAD DE ACCESO				
CONTRATA	EMPRESA CONTRATANTE DEL TÉCNICO	TIPO EMPLAZAMIENTO	POR EJEMPLO, TORRE + CASETA				
COORDENADAS	COORDENADA X	COORDENADA Y	HUSO Z				
OBRAS A REALIZAR (MARCAR)							
IMP U900	SWAP G900	SWAP 1800	SWAP 2100	IMP U2100	AMP 2100	AMP U900	SWAP U900
	X					X	
TIPO DE ESPACIO	MARCAR	DESCRIPCIÓN/ MODELO					
CASETA	X						
HABILITACIÓN							
OTROS							
TIPO DE SOPORTE	MARCAR	ALTURA/ DESCRIPCIÓN					
TORRE	X						
MÁSTIL							
ADOSADO A PARED							
ESTADO ACTUAL EMPLAZAMIENTO (BREVE DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO, TECNOLOGÍA, EQUIPOS, ETC)							
3 RBS 2202 PARA EL GSM 5 SECTORES. SECTOR 4 PARA REFLEX POZO DE LA SAL. FSME+FTIB+FXDA PARA EL UMTS 900 EN CONFIGURACION DISTRIBUIDA 3 SECTORES.							
EQUIPOS EXISTENTE Y A SWAPEAR							
	G900	DCS 1800	U900	U2100	RÉFLEX		
EQUIPO EXISTENTE	3 RBS2202		FSME+FTIB+FXDA		UNO		
NUEVO EQUIPO							
MÓDULOS SISTEMA	ESMB		FSMF+FBBA				
MÓDULOS DE SISTEMA 2							
MÓDULO RADIO1	FXDB		FXDA				
MÓDULO RADIO 2	FXDB						
MÓDULO RADIO 3							

Figura 4.3: Acta de replanteo, primera parte

La primera tabla a rellenar permite conocer principalmente la situación del emplazamiento, las tecnologías implementadas, y el modo de acceso a dicha localización.

Seguidamente, se indica la obra u obras a realizar en el emplazamiento y el tipo de construcción preparada para situar el sistema.

La última tabla indica el sistema radiante actual, que en este caso se compone de 5 sectores en la tecnología GSM, en el que uno de ellos es un réflex y 3 sectores de UMTS 900 con distintos módulos. FSME (*Flexi Multimode System Module*) es un tipo de módulo del sistema radiante, FTIB (*Flexi Module of Timing over Packet*) es un módulo de transporte y FBBA es un módulo de radiofrecuencia. Existe una cantidad muy variada de módulos, que ofrecen unos servicios distintos, por lo que cada operador elegirá el o los módulos a integrar en el sistema.

NUEVAS ANTENAS							
	SECTORES	Nº ANTENAS	MODELO	ORIENT.	PORTADORAS	ALTURA	DISTR/COMPA
GSM 900	SEC 1ª	2	X	325	2	30	COMPACTA
	SEC 2ª	2	X	65	2	30	COMPACTA
	SEC 3	2	X	160	3	27	COMPACTA
	SEC 5ª	1	X	235	2	28	COMPACTA
	RÉFLEX (UD)	SECTOR 4 PARA EL REFLEX CON UNA PORTADOR Y ANTENA YAGI 1800 AH183013					
DCS 1800	SEC 1ª						
	SEC 2						
	SEC 3						
UMTS 2100	SEC 1ª						
	SEC 2ª						
	SEC 3ª						
	SEC 4ª						
UMTS 900	SEC 1ª	1	Y	350	2	35	DISTRIBUIDA
	SEC 2ª	1	Y	160	2	35	DISTRIBUIDA
	SEC 3	1	Y	240	2	35	DISTRIBUIDA
	SEC 4						
LTE 1800	SEC 1ª						
	SEC 2						
	SEC 3						

Figura 4.4: Acta de replanteo, segunda parte

En la Figura 4.4, se representa la tabla que incluye los componentes del nuevo sistema, con su clasificación por tecnologías. En este caso, se indica que la tecnología GSM seguirá contando con 5 sectores, en el que el sector 4 se reservará para el réflex con una sola frecuencia de portadora y una antena direccional tipo Yagi. El resto de sectores contendrán una o dos antenas cada uno, según se indica en la tabla.

También se señalan los azimut de cada sector, la altura de las antenas con respecto a tierra y el número de frecuencias de portadora en cada una.

La diferencia entre una antena distribuida y una compacta es que las antenas distribuidas mejoran la cobertura en entornos urbanos donde existen limitaciones en la transmisión de señales. Es decir, si la zona lo precisa, es necesaria la inclusión de antenas distribuidas para mejorar la calidad de las llamadas y la transmisión de datos móviles.

Gracias a las actas de replanteo, los técnicos pueden meditar sobre la necesidad o no de este tipo de antenas.

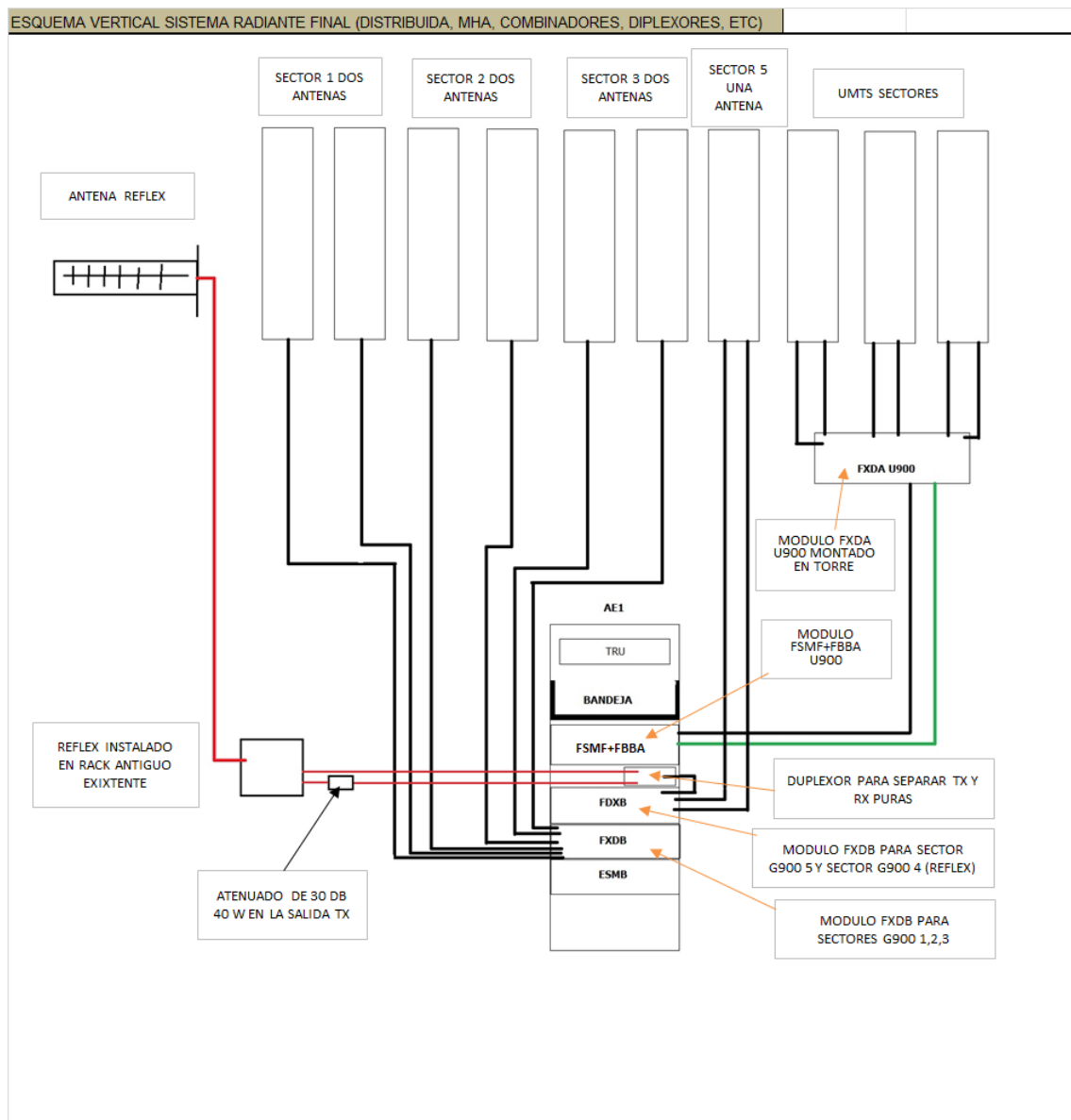


Figura 4.5: Esquema final de la situación del nuevo sistema radiante

Por último, en la Figura 4.5, se expone en forma de esquema, la situación del nuevo sistema radiante, es decir, la solución final después del *swap*.

Se aprecian todos los sectores con sus correspondientes antenas, incluida la *réflex*, y los módulos para las antenas de UMTS que llevan integrados. Además, se indica que desde base, la transmisión llevará una atenuación de 30 dB.

Se inserta un duplexor para separar las señales a emitir y las recibidas, de tal forma que se produzca el menor ruido posible en la señal al evitar posibles interferencias.

4.2 Diseño de radio

Los especialistas en diseño de radio deben realizar un estudio mediante los datos incluidos en el acta de replanteo, de la situación en la que se encuentra el emplazamiento donde se va a llevar a cabo el *swap*, teniendo en cuenta el actual sistema radiante con todos sus componentes y a partir de ahí, realizar el diseño del nuevo sistema radiante.

Un diseño radio consiste en crear las celdas que sean necesarias con las antenas correspondientes dependiendo de la zona que deben cubrir y definir las posibles vecindades de cada una de las celdas, teniendo en cuenta la distancia entre celdas y las frecuencias utilizadas en cada una de ellas.

Para el diseño de las celdas, dependiendo si éstas son 2G o 3G, se deben definir una serie de parámetros básicos que en conjunto, permiten que la celda sea única y pueda estar conectada a otras celdas con las que hacer *handover*.

A continuación se mostrarán los parámetros claves de cada tipo de celda.

o Celdas 2G

Como ya sabemos por el Capítulo III, las celdas 2G pueden ser GSM o DCS. Hay parámetros que serán iguales independientemente del tipo de celda 2G que se quiera diseñar, pero hay otros parámetros cuyos valores varían de una clase a otra. Los parámetros principales de ambos tipos de celda son:

- BSC: *Base Station Controller* al que pertenece la celda, en el que existirán uno o varios LACs (*Local Area Code*, código de cinco dígitos para identificar la zona en la que se encuentra la celda), de tal forma que éstos no se repitan en ninguna otra BSC. Una BSC contiene a su vez varias BTSs o RNCs.
- Nodo: cada celda debe pertenecer a un nodo concreto, y sólo a uno, que corresponde a una BSC o RNC concreta. A lo largo de esta memoria nos referiremos a un nodo cuando se quiera hacer alusión a la estación que contiene unas celdas concretas, tanto para 2G como para 3G.
- Nombre de la celda: nombre de la celda dentro de la red del proveedor/operador.
- Cell ID: número identificativo de la celda.
- BCCH: *Broadcast Control Channel*. Es un canal de control. Cada canal tiene una frecuencia principal en la transmisión de datos. Este parámetro es útil para evitar que las vecinas a la celda compartan el mismo canal, ya que esto puede producir mayor interferencia.

- BSIC: *Base Station Identity Code*, es un parámetro que identifica la estación base a la que pertenece la celda. Es la composición del NCC y del BCC.
NCC (*Network Colour Code*) es la parte de BSIC que indica el operador de red a la que pertenece la celda. Se usa para identificar las celdas que utilizan el mismo BCCH dentro de una misma zona.
BCC (*Base Station Colour Code*) es la parte del BSIC que identifica distintas celdas que tienen el mismo BCCH en la red GSM. Estos parámetros son importantes ya que permiten identificar completamente una celda dentro de una BSC en la que se repitan los valores de otros parámetros y así, conseguir la menor interferencia entre celdas posible.
- Canales TCH: indica el número de canales de tráfico de la celda.
- HSN: puede ser 0 o 1. Si es 0, significa que la secuencia de salto de frecuencia, denominada *hopping*, será cíclica y que no habrá cambios. Si es 1, indica que la secuencia de *hopping* puede variar aleatoriamente. La secuencia de *hopping*, produce que en lugar de que la información, las tramas, sean enviadas en una única frecuencia, cada trama sea transmitida en una frecuencia distinta dentro del rango del canal, de tal forma que va dando saltos de frecuencias y así permite que la tasa de error sea menor y que la información sea más difícil de interceptar por un receptor no deseado.
- BTS Power: potencia de salida del bastidor.
- CGI: está formado por cuatro valores: MCC – MNC – LAC – CI. El MCC es el código del país, que en el caso de España es 214, el MNC es el código del operador de red, que para las principales operadoras en España será: 01 para Vodafone, 03 para Orange, 04 para Yoigo, y 07 para Telefónica Movistar. El LAC y por último el CI (*Cell ID*), es el número de identificación de la celda, que también contiene cinco dígitos.
- Layer: capa a la que pertenece la celda, que indica la prioridad de la misma respecto a otras. Dependiendo de la capa asignada a la celda, ésta puede tener más parámetros asignados.

o Celdas 3G

Como se ha explicado en el Capítulo IV, las celdas 3G pueden pertenecer a dos rangos de frecuencias principales: U900 y U2100. Dentro de las celdas UMTS 2100, se pueden diferenciar tres frecuencias distintas, que llamamos f1, f2, y f3. A continuación se muestran los parámetros comunes a todas las celdas 3G, sin distinguir el rango de frecuencias utilizado en cada tipo:

- RNC destino: *Radio Network Controller*. Cada RNC tendrá uno o varios LACs asociados que no se repetirán en ninguna otra BSC/RNC.
- Nombre de la celda: nombre de la celda dentro de la red del proveedor/operador.
- Cell ID: número identificativo de la celda.
- PSC: *Primary Scrambling Code*. Código digital ortogonal que identifica la celda. No deberá coincidir con ninguno del entorno (0-511). Es una forma fácil por la que el NodoB puede identificar de dónde provienen las distintas señales que recibe simultáneamente de varios usuarios.
- CGI: número identificador de la celda en la operadora de red, igual que en las celdas 2G.
- Frecuencia de emisión (DL/UL): frecuencia de subida y de bajada para la transmisión de la información en la celda.
- SAC: *Service Area Code*. Un *Local Area* puede contener varias celdas asociadas, el SAC, identifica cada celda dentro de ese *Local Area*.
- HSDPA/HSDUPA: *High Speed Download Packet Access*. Como su propio nombre indica, es un protocolo de transmisión de datos a gran velocidad. Este parámetro puede estar activado o no en cada celda.
- PrimaryCpichPower: *Primary Common Pilot Channel Power*. Es la potencia establecida para el BCCH, que normalmente será entre el 5% y el 15% de la potencia total de transmisión del NodoB.
- Retardos: Pérdidas introducidas por los elementos del sistema radiante, como pueden ser los cables que conectan el módulo del sistema con la antena, la atenuación introducida por el sistema de base, etc.

Una vez realizado el diseño de las celdas en las que se va a realizar el *swap*, que normalmente conservarán los valores de celdas existentes previamente, excepto en el caso de que el cliente lo requiera, se deben diseñar las relaciones de vecindad.

La interacción de una estación con el entorno se realiza a través del proceso de **handover**. Se puede definir *handover* como el traspaso del control de una llamada de una celda a otra. Para el usuario, esto se realiza de forma transparente, es decir, sin dejar constancia para él de estos traspasos entre distintas celdas.

Además, se debe producir la reelección de celda, esto es, se selecciona la celda 2G o 3G con mejores condiciones para empezar una llamada.

Para que se produzca *handover*, la celda origen debe tener definida como vecina la celda destino.

Cada celda 2G, debe tener definidas vecinas tanto 2G-2G como 2G-3G, y de la misma forma, cada celda 3G debe tener definidas vecindades 3G-3G como 3G-2G. A las relaciones entre mismas tecnologías, las llamaremos vecinas *intrafrequency*. A las vecindades entre distintas tecnologías, las llamaremos vecinas *interfrequency*. Estas relaciones de vecindad se pueden configurar para penalizar o beneficiar la realización de *handover*.

Es muy importante que una celda tenga definidas siempre sus vecinas *cosite*, es decir, con las que comparte la misma localización, denominado en inglés *site*. También, estas relaciones de vecindad deben de ser recíprocas, es decir, la celda origen debe tener definida la celda destino como vecina, y de la misma forma, la celda destino debe tener definida como vecina la celda origen.

En principio, para cada celda deben conservarse las mismas vecinas que tenía definidas antes del *swap*. Sin embargo, gracias a la modernización del sistema, es posible que se creen nuevas vecindades inexistentes previamente debido a un posible aumento del área de cobertura o incluso a la integración de una nueva tecnología en una BTS cercana.

El listado de vecinas es finito, porque un gran número de vecindades definidas puede provocar lo que se llama “pimponero”, es decir, constantes saltos entre celdas vecinas para estar siempre relacionada a la que tiene mejores condiciones. El resultado de tantos saltos puede ser una interferencia muy alta en la llamada. Igualmente, a mayor número de vecinas, se producirán mayores problemas de sobrealcance y mucho tráfico de señalización.

En el extremo opuesto, una falta de vecinas definidas puede llevar a muchos fallos de *handover*, y por lo tanto, a un mayor porcentaje de llamadas no conectadas o caídas en la celda.

En la Figura 4.6 se expone un ejemplo de relaciones de vecindad de tres celdas en un entorno urbano:

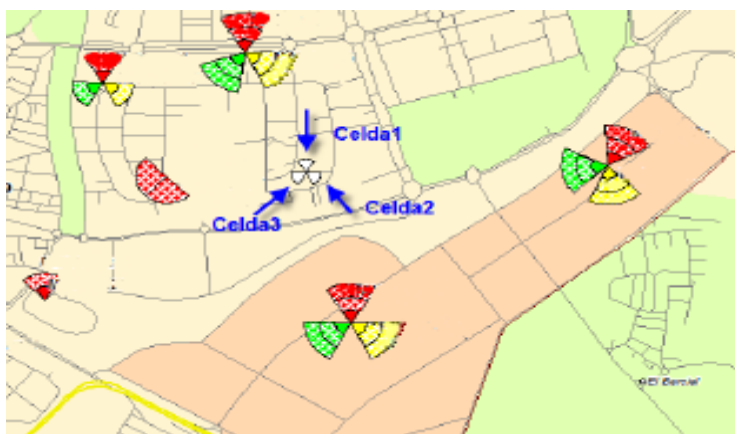


Figura 4.6: Ejemplo entorno de vecindades

En el mapa de la Figura 4.7, se reflejan varias celdas situadas en un entorno urbano, en el que se remarcan 3 celdas de un mismo *site* en el centro de la imagen. Cada celda tendrá definidas una serie de vecinas de las celdas que tiene alrededor.

En la siguiente figura, se pueden apreciar cuales serían las vecinas de la celda 1 marcada en el mapa de la figura anterior.

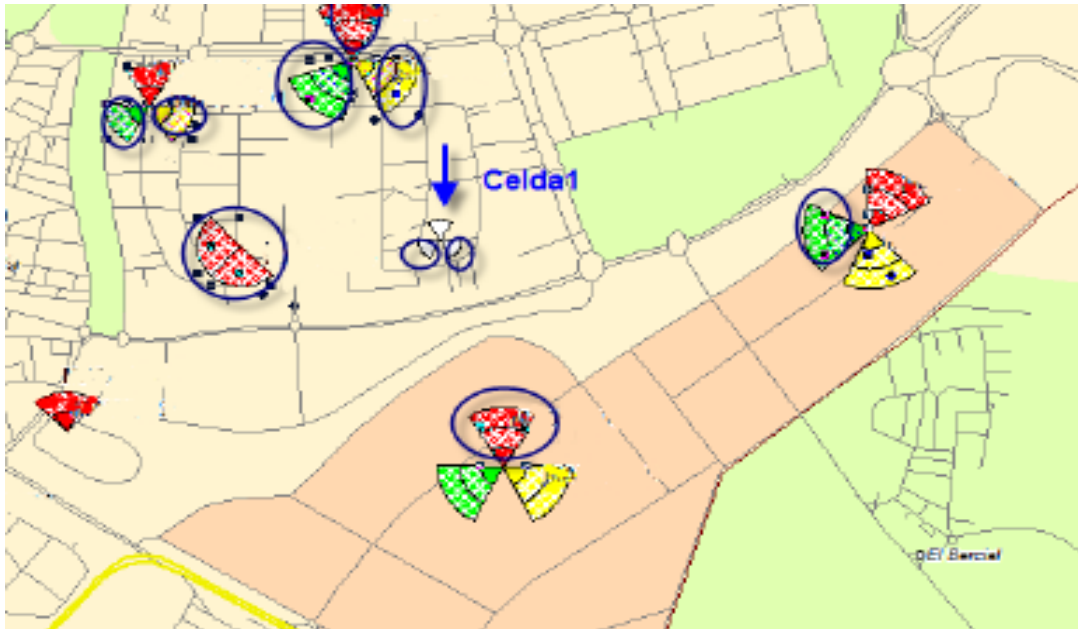


Figura 4.7: Mapa con relación de vecinas de una celda concreta

Señaladas con círculos azules, se representan las vecindades de la Celda 1 indicada en el mapa. Es importante señalar, que las celdas 2 y 3 del mismo *site* que estamos diseñando, quedan definidas como vecinas de la misma, como se puede ver en el mapa al aparecer rodeadas de círculos. Estas son las denominadas vecinas *cosite*.

Como se ha explicado antes, estas definiciones deben ser recíprocas, por lo que cada una de las celdas rodeadas con un círculo deben tener a su vez definidas como vecina la Celda 1.

De la misma forma, las celdas 2 y 3 del *site* situado en el centro de la imagen, tendrán definidas sus correspondientes vecindades y lo mismo sucede en el resto de las celdas de los *sites* definidos.

Una vez terminado el diseño de radio y de transmisión de las celdas a realizar el *swap*, y antes de la puesta en el aire, que llamaremos de ahora en adelante "*On Air*", del nuevo sistema radiante diseñado, deben realizarse las medidas de *drive test* para observar el estado del *site* y sus condiciones de tráfico.

4.3 Medidas *drive test* pre-swap

Los *drive test* se realizan antes del *swap* con el objetivo de tener unas medidas fijas del sistema radiante antes de proceder al *swap* para poder comparar las prestaciones antes y después.

Estas medidas las debe tomar un técnico de la red y normalmente se desarrollarán en puntos aleatorios dentro del área de cobertura y se tomarán las siguientes medidas que se tendrán en cuenta para el resultado posterior al *swap*.

Como el objetivo de la realización de la obra es principalmente mejorar o al menos igualar las prestaciones del sistema anterior, estas medidas serán útiles en la revisión del cumplimiento o no de KPIs.

Al finalizar el *drive test*, los técnicos deberán rellenar los siguientes datos indicados en la tabla de la Figura 4.8.

FECHA TRABAJO	TIPO DE TRABAJO	BTS/RNC	NUMERO DE CELDA	TECNICO GNIC	REVISION GENERAL				FECHA KPIs	HORA KPIs
					FECHA REVISION	HORA REVISION	REVISADO POR	COMENTARIO		
06/01/15	INTEGRACION	x GSM	1	a.b.	01/06/2015	18:26:51	a.b.		06.01.2015	16:00:00
06/01/15	INTEGRACION	x GSM	2	a.b.	01/06/2015	18:26:51	a.b.		06.01.2015	17:00:00
06/01/15	INTEGRACION	x GSM	3	a.b.	01/06/2015	18:26:51	a.b.		06.01.2015	16:00:00
06/01/15	INTEGRACION	x GSM	4	a.b.	01/06/2015	18:26:51	a.b.		06.01.2015	17:00:00
06/01/15	INTEGRACION	x UMTS	5	a.b.	01/06/2015	18:26:51	a.b.		06.01.2015	16:15-18:15

Figura 4.8: Datos básicos *site*, *drive test*

En esta primera tabla, se incluirán los datos pertenecientes al *site*, como son: el nombre de la BTS, la fecha y hora del trabajo, las celdas a las que se ha realizado un *swap* y el nombre del técnico encargado de realizar el *drive test*. Como se puede observar, la hora en que se han obtenido estos KPIs, es previa a la hora en la que se ha realizado el *swap*, tal y como viene explicado anteriormente en el diagrama de bloques del proceso.

En la siguiente parte de la tabla, se mostrarán los KPIs pertenecientes a cada una de las celdas de la tabla anterior en la tecnología 2G.

TCH availability ratio (100%)	TCH CALL REQ (c57028) (>0)	SDCCH success (>80%)	TCH access probability, real (>90%)	CSSR, voice (>80%)	CONVER STARTED (c57015)	DROPPED CALLS (c57007)	TCH dropped conversation (<10%)	TCH traffic sum of normal TRXs (>0)	UL EGPRS RLC pay load (kB)	DL EGPRS RLC pay load (kB)	TCH denied new call (%)
100	2	100	100	100	1	0	0	0.06	364.97	635.99	0
100	3	100	100	100	3	0	0	0.13	636	12,356.54	0
100	2	100	100	100	1	0	0	0.06	364.97	635.99	0
100	3	100	100	100	3	0	0	0.13	636	12,356.54	0

Figura 4.9: KPIs *drive test* 2G

En la Figura 4.9, podemos ver las medidas obtenidas al realizar el *swap* en las celdas de 2G. Como puede verse, sólo tenemos información en las 4 primeras celdas del *site* puesto que son las pertenecientes a esta tecnología. Posteriormente se incluirán las relativas a la tecnología 3G.

A continuación se explicarán los parámetros a tener en cuenta en las medidas realizadas en los *drive test*. Utilizaremos la nomenclatura inglesa de los parámetros tal y como se estipulan en el proyecto:

- **TCH availability ratio:** TCH (*Traffic Channel*). Indica el porcentaje de disponibilidad del canal de tráfico, y siempre debe ser 100%; de lo contrario el canal estaría ocupado y no podría dar cabida a más usuarios, y por tanto no permitiría el establecimiento de una nueva llamada.
- **TCH call request:** indica el número de intentos de establecimiento de llamada en esa celda. Debe de realizarse al menos un intento para estudiar las condiciones en las que se encuentra la celda del nodo al que se le ha realizado un *swap*.
- **SDCCH success:** *Standalone Dedicated Control Channel*, es decir, canal de control dedicado, encargado de mantener la conexión entre el móvil y la estación base mientras que la estación encuentra un canal de tráfico para desviar la llamada. Este KPI nos va a indicar si el SDCCH ha cumplido correctamente la misión y ha mantenido la conexión hasta desviar la llamada al TCH correcto. En concreto, el KPI requerido por el cliente debe superar el 80% como está indicado en la Figura 4.9.
- **TCH Access probability (real):** una vez que la llamada ha sido desviada al TCH indicado, se mide cuál es la probabilidad de acceso al canal de tráfico, es decir, si se ha conseguido establecer la llamada entre la estación y el dispositivo. En este caso, el porcentaje debe superar el 90% para cumplir KPIs.
- **CSSR (voz):** *Call Setup Success Rate*, indica el porcentaje de las llamadas de voz realizadas que se han establecido con éxito, es decir, el cociente entre el número de llamadas conectadas satisfactoriamente y el total de intentos realizados. Para que se cumplan KPIs, este porcentaje debe ser mayor del 80%.
- **Conver started:** número de conversaciones comenzadas.
- **Dropped calls:** número de llamadas caídas en cada celda.
- **TCH dropped conversation:** porcentaje de caída del canal de tráfico, que debe cumplir un porcentaje inferior al 10% del total de llamadas establecidas.
- **TCH traffic sum of normal TRXs:** los TRXs son los transceptores de la antena, que permiten soportar señales a diferentes frecuencias en los sectores de la estación base. Por lo que este parámetro indica la suma del tráfico medido en cada celda con todos los TRXs que las comprendan.

Es decir, si una celda tiene dos TRXs, se suma el tráfico del canal de los 2 TRXs. Para confirmar que la llamada se ha realizado correctamente, el tráfico debe ser mayor a cero.

- **UL EGPRS RLC payload:** indica el número de kB que se han transmitido en sentido del dispositivo móvil a la estación.
- **DL EGPRS RLC payload:** lo mismo que el parámetro medido anterior pero en sentido descendente, de la estación al terminal.
- **TCH denied new call:** llamadas denegadas por el canal de tráfico. Esto es, cuando se intenta establecer la llamada, el porcentaje de llamadas que no ha permitido conectar el canal de tráfico.

A continuación, se incluye la tabla con los KPIs a medir en la tecnología 3G.

3G							
Cell Availability (100%)	ESTABLISHED_VOICE (>0)	ESTABLISHED_PSD (>0)	FALL_ESTABLISHED_VOICE_CS_TAS_A (<10%)	FALL_ESTABLISHED_VOICE_PS_TAS_A (<10%)	CAIDAS_VOICE_TAS_A (<10%)	CAIDAS_PS_TAS_A (<10%)	Total CS traffic - Erl (>0)
▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
100	4	43	0	0	0	0.35	0.09

Figura 4.10: KPIs drive test 3G

En la Figura 4.10, vemos los parámetros a medir en el *drive test* en esta tecnología. Recordamos que únicamente la última celda del *site* pertenecía a 3G, por lo que las cuatro primeras filas, que pertenecen a los cuatro sectores de GSM, no se rellenarían.

Los parámetros a medir son:

- **Cell availability:** la capacidad de la celda, es decir, si es posible que la celda dé cabida a más usuarios. Debe ser 100%, de lo contrario, significaría que la celda no admite más usuarios y no permitiría una nueva conexión, lo que no debería de suceder si el diseño de transmisión se ha realizado correctamente.
- **Establecimientos_voz:** indica el número de establecimientos de llamada que se han realizado en la celda. Debe ser mayor que 0 para poder observar la situación del resto de parámetros.

- **Estableciminetos_PS**: número de establecimientos para la transmisión de datos. Debe ser mayor que 0 por lo mismo que el mismo motivo que en el caso previo.
- **FALL_EST_RRC_CS_TAS**: tasa de fallo en el establecimiento de llamadas de voz. Para que este KPI sea aceptado debe ser menor al 10%.
- **FALL_EST_RRC_PS_TAS**: tasa de fallo en el establecimiento de transmisión de datos móviles. Al igual que el anterior, debe ser menor al 10%.
- **CAIDAS_VOZ_TAS**: tasa de llamadas de voz caídas una vez conectadas. Debe ser menor al 10%.
- **CAIDAS_PS_TASA**: tasa de caídas en la transmisión de datos. También debe ser inferior al 10% para cumplir KPIs.
- **Total CS traffic-Erl**: tráfico total de datos en Erlangs. Debe ser mayor que 0 para demostrar que existe transmisión de datos en la celda.

Una vez que estos KPIs se cumplen para todas las celdas del *site* en el que se han realizado las medidas de *drive test*, significa que el *site* está en condiciones de poder realizarse un *swap*. Si no cumplierse los KPIs mínimos de tráfico, llamadas, establecimientos de voz, etc., no se podría realizar el *swap* puesto que el resultado obtenido no podría ser comparable al estado anterior y por lo tanto no serían fiables los servicios que ofrecería el *site*.

4.4 Swap y monitorización

Antes de la puesta *On Air* del nuevo sistema radiante, es necesaria la revisión de los parámetros del *drive test pre-swap*, para conocer la situación previa del tráfico y de la transmisión. Si la situación no cumple KPIs, entonces se realiza una corrección de los datos enviados si procede, y se cargan nuevamente los parámetros para conseguir el cumplimiento de KPIs y poder realizar el encendido.

Se detalla en la siguiente figura los pasos a seguir de forma esquemática:

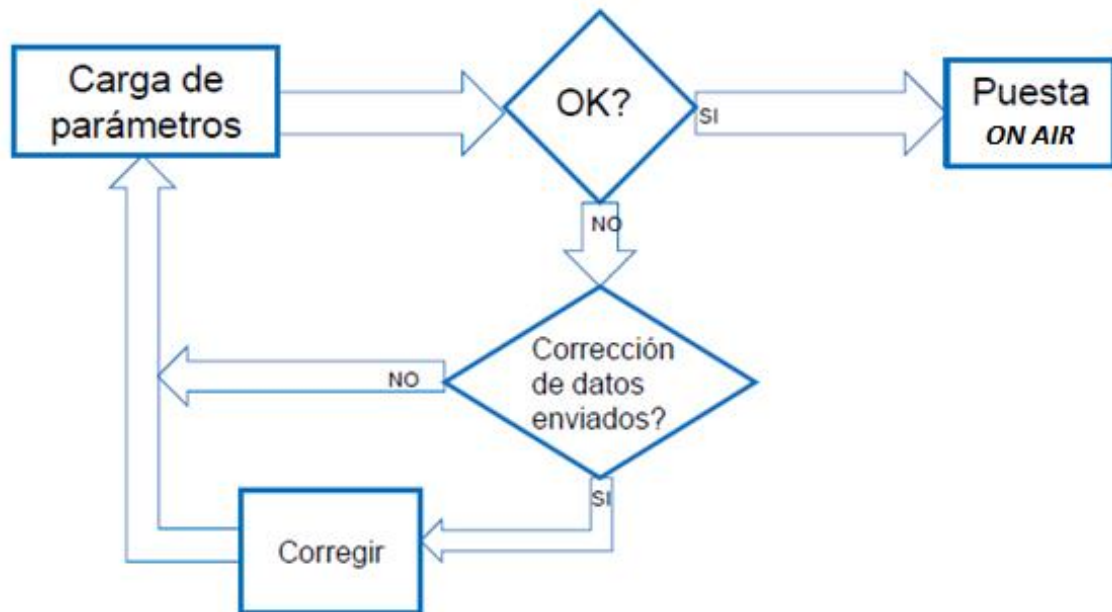


Figura 4.11: Esquema de puesta *On Air* de un *site*

El procedimiento de encendido en un *site* es el siguiente: se desbloquea la estación, se corta la transmisión, se cambia el equipo viejo por el nuevo y se enciende para que comience a radiar.

La ejecución de un *swap* puede dar lugar a dos posibles modificaciones; la primera es el cambio único de módulos del sistema, esto es, cambiar las tarjetas en el sistema de transmisión (se quitarían las tarjetas correspondientes al proveedor antiguo y se introducirían las nuevas en las RRUs), o el cambio completo de tarjetas y de antenas como sistemas radiantes.

Una RRU (*Remote Radio Unit*) es un componente cuya función es hacer posible la comunicación entre el usuario y la red. La RRU junto con las antenas de radio, y los transmisores forman las estaciones base, BTS.

El cambio de antenas es ligeramente más complicado puesto que se necesita estudiar la arquitectura de la estación base y comprobar la estructura de la edificación de la misma para la instalación de las nuevas antenas.

Los cambios de las antenas se llevarán a cabo únicamente si el operador de red lo indica y normalmente los motivos por los cuales conviene realizar este cambio pueden ser: la necesidad de cambiar los azimuts de los sectores que componen la estación base, es decir, modificar la orientación de las antenas, o bien, la implantación de nuevas antenas por mejorar el estado del sistema radiante.

Una vez cambiadas las tarjetas y las antenas, si procede, se debe cablear correctamente los nuevos equipos para que el sistema radiante pueda proceder a su puesta *On Air*.

Una vez que se pone *On Air* el *site*, mediante la monitorización se comprueba si cumple las estadísticas pronosticadas. Si no las cumple, se realizan de nuevo medidas del estado del tráfico y se optimizan los datos para cargarlos de nuevo en el sistema. Si cumple KPIs, se realiza la aceptación del *site*.

Los KPIs son, como se ha explicado al principio de este capítulo, los criterios de calidad que se establecen en relación a las estadísticas obtenidas de una estación.

Para 2G, deben cumplirse los objetivos de accesibilidad, de DCR (*Drop Call Rate*), de bloqueo de TCH (*Traffic Channel*), y de éxito de *handovers*.

Para 3G, deben cumplirse los KPIs de establecimiento de llamadas de voz, de establecimiento de datos móviles, de DCR para voz y DCR para transmisión de datos.

Estos parámetros han sido detallados en el apartado 6.3 distinguiendo entre las tecnologías 2G y 3G.

Cada operador establece los KPIs mínimos de nueva integración. Dependiendo de la zona de cobertura y del objetivo del proyecto, se suelen establecer diferentes KPIs.

De forma resumida se citan a continuación los problemas de KPIs más importantes que se deben tener en cuenta en la monitorización del *swap*:

- Problemas de accesibilidad:
 - Se podría aumentar la tasa media de transmisión para aumentar la capacidad del canal.
 - El aumento de TRXs, aumenta también la capacidad, ya que se están aumentando los canales de tráfico en cada sector.
 - Otra opción es realizar un ajuste de las orientaciones de cada sector del *site*, pues afecta directamente al área de cobertura.
 - Los problemas en la instalación de los equipos provocan fallos en la implementación e integración de los diseños realizados, por lo que se debería revisar la instalación realizada.
- Problemas de *Drop Call* (llamadas caídas)
 - Pueden deberse a problemas de *handover*, para lo cual se deben revisar las vecindades, las definiciones de vecinas tanto *intrafrequency* como *interfrequency*, y la reciprocidad en las definiciones de vecindad.

- La existencia de sobrealcance en el área de cobertura del nuevo sistema radiante puede significar la pérdida de vecindades más cercanas a la estación.
 - La existencia de interferencias puede causar caídas de llamada. Estas interferencias se pueden producir por la presencia de celdas cuyas frecuencias comparten el mismo canal para 2G o a la existencia de relaciones de vecindad que comparten el mismo canal o canales adyacentes, incluso para vecindades entre celdas con el mismo *Scrambling Code*. En estos casos es necesario revisar el diseño de definición de vecinas.
- Problemas de *Block Call* (llamadas bloqueadas)
 - En el canal de bajada: no hay canales disponibles para la transmisión desde la estación al terminal del usuario, lo que se podría resolver aumentando la tasa media de transmisión o el número de TRXs en la celda con el objetivo de aumentar la capacidad del canal.
 - En el canal de subida: es decir, la transmisión del terminal hacia la estación, se asocian a problemas de accesibilidad, por lo que se aplicarían las mismas medidas que en el caso de problemas de accesibilidad.

Gracias a las medidas de *drive test*, se puede detectar en ocasiones el origen de estos problemas arriba descritos, para lo que es necesaria la realización de medidas específicas (zonas de mala cobertura, fallos de *handover*, búsqueda de *drop call* y *block call*, etc.).

4.5 Medidas *drive test* post-swap

Estas medidas se realizan de la misma forma que las medidas pre-swap. Sin embargo, los resultados obtenidos deben ser al menos iguales que los conseguidos en la anterior medición, aunque se busca una mejora en algunos aspectos con respecto a las prestaciones del sistema radiante previo. De esta forma, conseguiremos el objetivo que se pretende con el swap del site, que es una mejora de la red de comunicaciones para que la operadora pueda ofrecer mejores servicios a sus clientes.

Antes de comenzar a realizar el *drive test*, se deberá establecer el área de cobertura según los objetivos a medir, como se representa en la Figura 4.12.

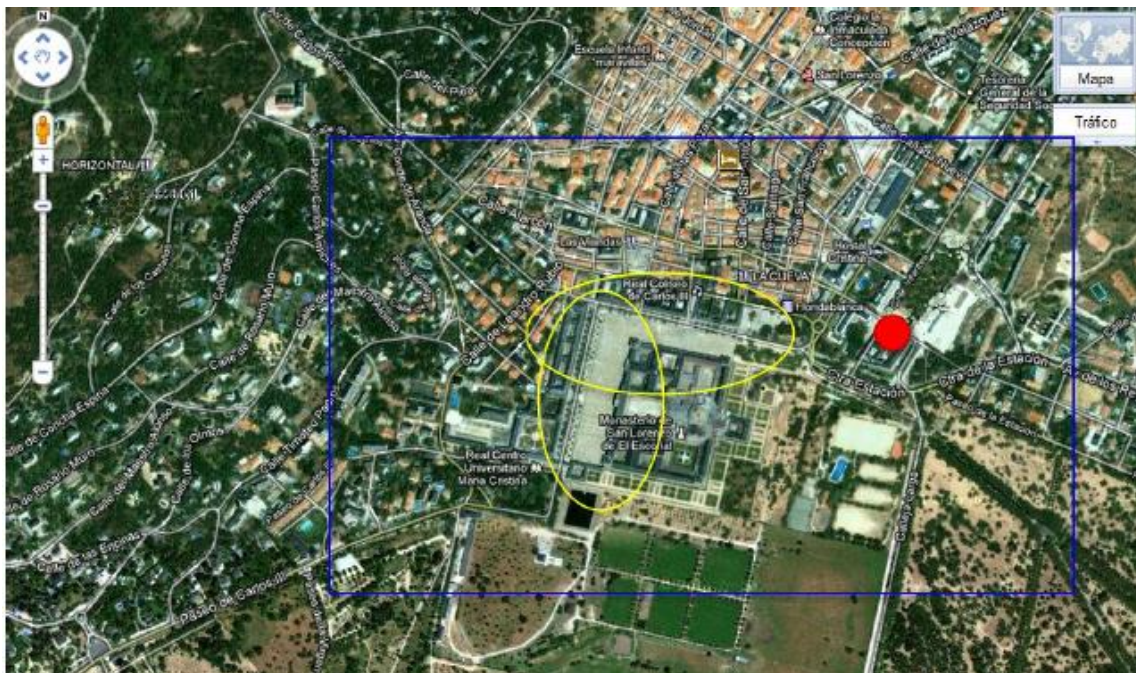


Figura 4.12: Ejemplo del mapa para el área de cobertura a medir

El rectángulo azul indica el área a medir, los óvalos amarillos indican el área abarcada por los dos sectores de la estación BTS o nodo B. El punto rojo indica la posición actual del coche utilizado para realizar los *drive test*.

Se realizan dentro de un área de cobertura determinado y a través de un coche equipado con las herramientas de medición necesarias. Estas herramientas son uno o varios teléfonos móviles configurados de forma especial, ya que dependiendo del tipo de celdas que se quieran evaluar, estos teléfonos están forzados al 2G en el caso de celdas GSM y DCS, y forzado al 3G para celdas U900 y U2100. Además, son capaces de medir el nivel de interferencia en las llamadas realizadas.

Por otro lado, se utiliza también un escáner capaz de configurar las frecuencias. Para 2G, configurarán los BCCHs del operador tanto para GSM como DCS, y en 3G, configura las frecuencias de portadora que, como se ha explicado en el Capítulo III, son una para U900 y tres frecuencias f_1 , f_2 y f_3 para U2100.

En esta ocasión se evalúa el funcionamiento del nuevo elemento de red, por lo que es necesario conocer los parámetros de la estación BTS o nodo B a medir, como son el BCCH, el *Scrambling Code* (en definitiva los parámetros que definen las celdas).

Se comprueba que la implementación sea la correcta a través de la medida de la cobertura en el área medida y del resultado de los valores medidos en los parámetros de la celda.

Cuando se realizan estas medidas en un área que cumple los KPIs de la monitorización del *site*, se realiza de una forma más sencilla que si no ha cumplido los KPIs de la monitorización, ya que en el segundo caso, es obligatorio buscar la causa de las malas estadísticas obtenidas.

A partir de los resultados se obtendrán las conclusiones según el objetivo procesado.

Después de obtener estas medidas y compararlas con las anteriores, se decidirá si el *site* está en condiciones aptas de tráfico y transmisión de datos para continuar con la revisión y optimización de todos los KPIs del *site* en el que se ha realizado el *swap*.

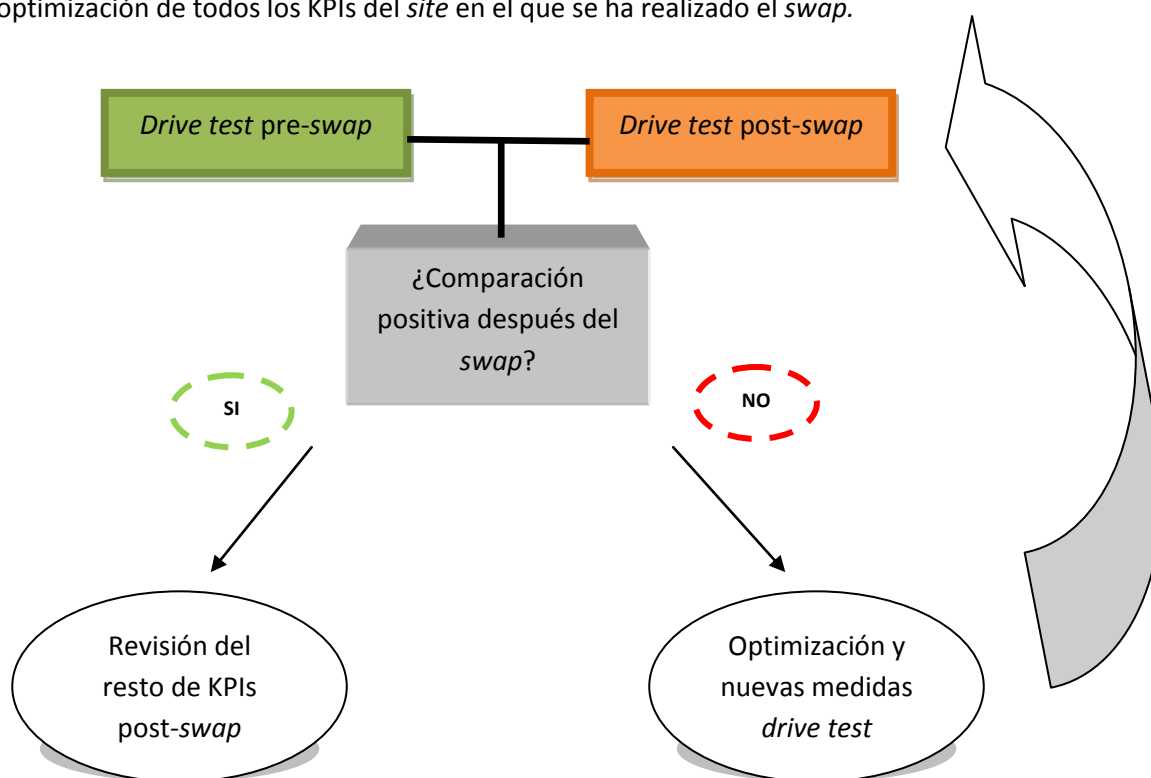


Figura 4.13: Proceso de verificación de un *swap*

Como se muestra en el esquema anterior, una comparación positiva entre las medidas pre y post-*swap*, implica el comienzo de la revisión del resto de KPIs que han resultado de la realización del *swap*. Si por el contrario, estas medidas no cumplen los KPIs impuestos por el cliente, debe de realizarse una revisión del *site* por parte del técnico correspondiente.

4.6 Revisión y optimización

Una vez que se han realizado las medidas post-*swap*, la parte de optimización se encarga de perfeccionar los resultados obtenidos para conseguir la aceptación del *site* por parte del cliente. Es en este punto del proyecto donde se va a revisar toda la obra realizada, estudiar las medidas de tráfico y de ruido que hay en el área de cobertura, el porcentaje de llamadas caídas y llamadas no conectadas, las definiciones de las vecindades de las celdas del *site*, la potencia de salida de la antena, la posibilidad de que el diseño realizado no sea correcto o de que el técnico no realizase bien el *swap* del sistema.

A continuación se explicarán una a una todas las revisiones que se llevan a cabo en este bloque del proyecto, comenzando por las medidas de tráfico en cada celda.

4.6.1 Alarmas

La primera verificación necesaria para comenzar a revisar el *site* donde se ha realizado el *swap* y observar el cumplimiento o no de KPIs, es comprobar la existencia de posibles alarmas activas. Hay distintos tipos de alarmas que se pueden activar automáticamente por distintos motivos y pueden dar una pista acerca de un posible problema existente en el sistema radiante y que puede provocar el incorrecto funcionamiento del sistema.

A continuación se explican los tipos de alarmas que pueden estar activados y los motivos que pueden llevar a su activación:

- **Alarmas de mantenimiento:** “*Maintenance mode activated*”, cuando el técnico inicia los trabajos en el *site* donde se va a realizar el *swap*, se activa una alarma de mantenimiento que indica precisamente que se está llevando a cabo un trabajo en el *site*. Una vez finalizada la obra, esta alarma debe quedar desactivada. Sin embargo, hay algunas ocasiones en las que no se desactiva, por lo que si la finalización del trabajo está marcada a una hora y la alarma sigue encendida después, debemos comunicar al técnico este hecho. Una vez avisado el técnico, éste procederá a desactivar la alarma o si por cualquier problema que se haya producido al realizar el *swap*, aún se están realizando cambios en los equipos, el técnico debe marcar el final del trabajo y de esta forma, comenzar los trabajos de revisión y optimización.
- **Alarmas de equipo:** en este apartado, pueden aparecer varias alarmas: “*RX signal failure*”, “*antenna line failure*”, “*WBTS connection failure*”, “*channel failure*”. Cualquiera de estas alarmas implican un problema de los equipos, por lo que se deben revisar los KPIs obtenidos en las medidas de *drive test* post-*swap* y comprobar qué KPI es el que no se está cumpliendo y comunicarlo al técnico para que revise la obra realizada y el sistema radiante.

El objetivo de esta revisión por parte del técnico es el de solucionar un posible fallo en la conexión de los equipos, o incluso, si fuese necesario, realizar un *reset* a la estación y comprobar de nuevo su evolución, comenzando de nuevo por revisar unas nuevas medidas de *drive test post-swap*.

- **Alarmas de ROE:** se activará la siguiente alarma: *“mean holding time below defined threshold”*. La ROE (Relación de Onda Estacionaria) es el cociente entre la amplitud máxima de la onda, esto es, la suma de la onda transmitida y la onda reflejada, y la amplitud mínima, es decir, la resta de la amplitud de onda transmitida y la de la onda reflejada. En otras palabras es la relación entre la energía transmitida por el equipo y la energía reflejada debido a los componentes del propio transmisor, de los cables, etc. Esta alarma nos indica que la ROE es elevada y que puede provocar pérdidas en la potencia que radia la antena. Además, normalmente la obtención de una ROE alta, puede ser significativo de un mal estado de los componentes del equipo o de un mal funcionamiento del mismo.
- **Alarmas de tráfico:** se activarán las alarmas *“BTS with no transactions”* o *“RNC with no attempts”*. Estas alarmas, como su propio nombre indica, informan de que la estación, ya sea para las celdas 2G como para las celdas 3G, no está realizando intentos de llamadas ni cursando tráfico. En estos casos, es urgente que el técnico acuda a la estación y compruebe que todo el sistema está correctamente conectado y encendido. De lo contrario, las antenas no radiarán potencia y no se ofrecerá cobertura a ningún área, por lo que las llamadas que intenten conectarse con las celdas de la estación se caerán.
- **Alarmas de temperatura:** se activarán cuando la temperatura en la estación sea lo suficientemente baja como para afectar al sistema radiante.

En el caso de que no haya ninguna alarma activa en el momento de la revisión del *site*, se prosigue con la revisión de los siguientes apartados. Si se activase posteriormente alguna alarma en el *site*, se informa directamente al técnico supervisor de la instalación para el caso que corresponda de los mencionados anteriormente.

4.6.2 Evolución del tráfico en una celda

Esta es una de las revisiones más importantes a realizar una vez ejecutado el *swap* en un *site*, ya que nos da visibilidad de los posibles problemas en cada una de las celdas donde se ha realizado un *swap* nos llevará a conseguir el objetivo marcado por el cliente.

En la gráfica de la Figura 4.14, se pueden observar tres datos representados; el nivel de llamadas realizadas en una celda, el porcentaje de llamadas caídas en la misma y el porcentaje de llamadas no conectadas.

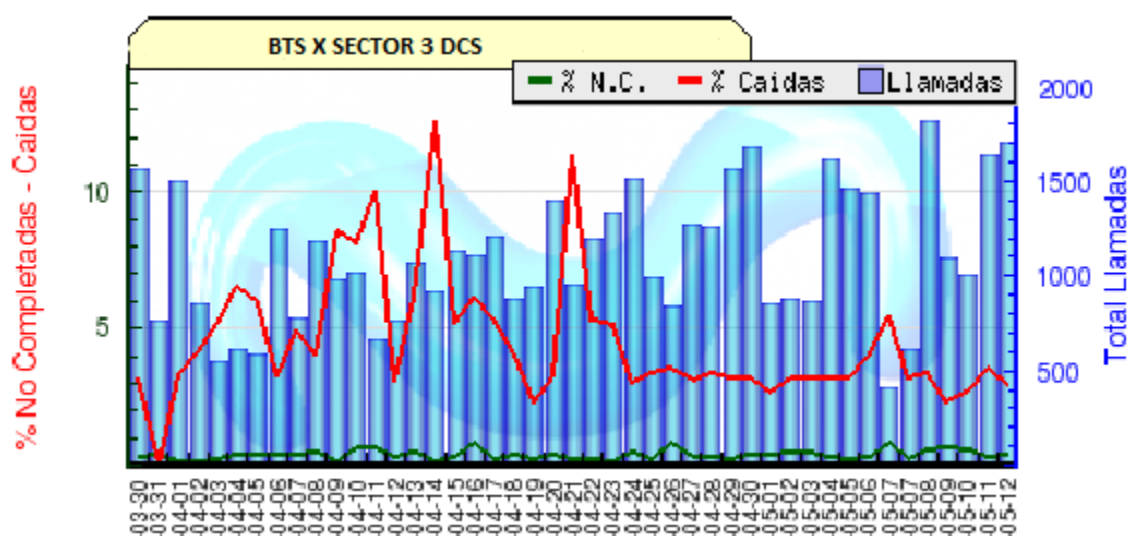


Figura 4.14: Ejemplo del tráfico en una celda

En este ejemplo, el día del *swap* corresponde al 7 de Mayo de 2015. Esto se puede apreciar por la variación de los 3 datos indicados en la gráfica: el tráfico ha disminuido, y los porcentajes de llamadas caídas y llamadas no conectadas han aumentado. Dado que es el día en el que se realiza el *swap*, y se corta la radiación en los equipos para poder cambiarlos por los nuevos, es normal que se produzcan este tipo de variaciones tan bruscas.

Una vez situado en la gráfica el día en el que se ejecuta el cambio en la red, debemos observar la situación del tráfico previa a este día, y compararla con la situación de los días posteriores, es decir, con los resultados obtenidos una vez realizada la obra.

Existe varias causas por las que el tráfico se puede ver afectado en días puntuales como son las siguientes:

- **Días de fiesta local:** el tráfico aumentará ya que habrá un mayor número de usuarios en el área de cobertura del *site* donde se ha realizado el *swap*, por lo que las celdas experimentarán un aumento de tráfico, y por lo tanto, también de caídas y llamadas no conectadas.

- **Climatología:** si el área donde radian las antenas del *site* ha atravesado un temporal de tormenta y lluvia, es normal que afecte a la red, provocando un mayor número de llamadas caídas y de llamadas conectadas.
- **Recinto cerrado:** si la antena está colocada en un recinto cerrado que únicamente abre al público ciertos días, los días en los que permanezca cerrado, el tráfico disminuirá considerablemente.
- **Nuevas obras en el *site*:** si un técnico acude a la estación y realiza cualquier cambio en los equipos, el tráfico puede verse afectado y por lo tanto, es necesario que toda visita al *site* quede documentada para reconocer un posible problema causado en la red.

Teniendo en cuenta las situaciones anteriores, el estudio del tráfico en una celda nos permitirá descubrir si el nuevo sistema radiante ofrece los servicios deseados o si por el contrario es necesario optimizar los recursos de la red para conseguir el objetivo.

En la gráfica de la Figura 4.15 se aprecia un ejemplo de variación del tráfico a raíz de la ejecución del *swap*.

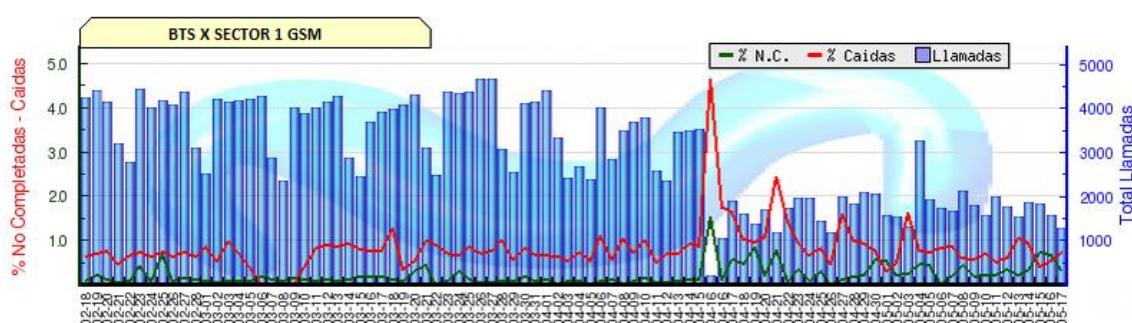


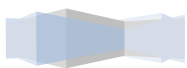
Figura 4.15: Ejemplo de sector con tráfico degradado

Se puede apreciar que el pico más alto de llamadas caídas coincide con el pico más alto de llamadas no conectadas y con la disminución más grave de tráfico, por lo tanto este día debemos comprobar que efectivamente es el día del *swap*, que es el 16 de Abril de 2015.

Se observa una clara degradación del tráfico en el sector a partir de la realización del *swap*. También los porcentajes de llamadas caídas y no conectadas empeoran después de ese día, por lo que hay que estudiar cómo solucionar el problema. Si bien no se han dado ninguno de los casos especiales arriba mencionados, el siguiente paso es comprobar la posible existencia de sectores cruzados, para lo que es necesario revisar el resto de sectores, y nos remitiríamos al apartado 4.6.4 para la explicación de esta situación.

En el caso de inexistencia de sectores cruzados en el *site*, debemos realizar un ajuste de potencia para intentar conseguir equilibrar la situación de tráfico anterior al *swap* y la situación actual. La explicación para la realización de este ajuste de potencia se da en el apartado siguiente, el 4.6.3.

Si aun así no se consiguen los resultados deseados, se debe avisar al técnico de obra correspondiente para que acuda al *site* actualizado y realice una comprobación del estado del sistema radiante y del cableado en los equipos y de esta forma, ejecute los cambios necesarios para solucionar la situación del tráfico.



4.6.3 Potencia transmitida

La potencia máxima que podrá transmitir el sistema radiante por cada tecnología y celda es de 40 W en este proyecto, definido por el operador de red. Para calcular la potencia en cada celda se debe dividir los 40 W de potencia total entre el número de TRX del mismo.

A modo de ejemplo, el caso más común que nos podemos encontrar es una estación que tenga tres sectores y cada uno tenga 1 TRX. En este caso, la potencia máxima en cada sector sería de 40 W. Si alguno de estos sectores tuviese, por ejemplo, 2 TRX, la potencia máxima en ese sector sería de 20W, y así sucesivamente.

Una vez definida la potencia máxima, por diseño, las celdas comenzarán siempre con el máximo de potencia aplicado, pero puede modificarse para conseguir un resultado óptimo.

Los casos en los que se debe realizar un ajuste de potencia son aquellos en los que el tráfico de una celda se haya visto alterado en los días previos al *swap*.

Debe tenerse en cuenta la posibilidad de que la variación del tráfico haya podido deberse a alguno de las razones indicadas en el apartado 4.6.3 anterior, por los cuales, los niveles medidos no son fiables y por lo tanto, se debe esperar a que la situación en el área de cobertura se normalice para poder estudiar la verdadera situación del tráfico y entonces, llevarse a cabo los ajustes necesarios de potencia y atenuación.

Dependiendo si el tráfico está degradado o por el contrario, ha aumentado notablemente, debe de ajustarse la potencia en el sector en el que se ha alterado el tráfico.

Para ajustar la potencia de salida del sector, hay dos parámetros que es posible modificar:

- **BsTxPower:** indica los pasos de atenuación que introducimos en el sector para regular la cantidad de potencia radiada y así limitar el tráfico en el área de cobertura del mismo. Cada paso de atenuación equivale a 2dB y cuando se realiza un *swap*, se mantienen los mismos pasos de atenuación que tenía el sector antes del *swap*, es decir, en el sector antiguo.
- **MaxTxPower:** este parámetro corresponde a la potencia máxima aplicada en el sector, que como se ha explicado antes, será de 40 W por sector y tecnología, por defecto. A partir de aquí, se puede disminuir hasta conseguir el efecto deseado.

Se presentan a continuación distintos posibles escenarios que nos podemos encontrar:

1. **El tráfico está degradado porque el número de llamadas ha disminuido respecto a los días previos al *swap*.** Es el caso de la Figura 4.18, para solucionarlo, la potencia debe ser máxima en este sector que estamos revisando y debemos disminuir la atenuación introducida, es decir, quitar un paso de atenuación en BsTxPower.

Dependiendo de si el tráfico ha disminuido ligeramente o notablemente, se quitarán 1 o 2 pasos de atenuación respectivamente. Una vez ejecutado el ajuste de potencia, se debe revisar de nuevo el estado del sector ajustado.

2. **El porcentaje de llamadas caídas ha empeorado pero el tráfico se mantiene en el mismo nivel anterior.** Se apreciarán picos más altos de llamadas caídas los días posteriores al *swap*. La solución es introducir un paso de atenuación en BsTxPower al sector para evitar esa degradación en el porcentaje de caídas. Se presenta un ejemplo en la siguiente figura:

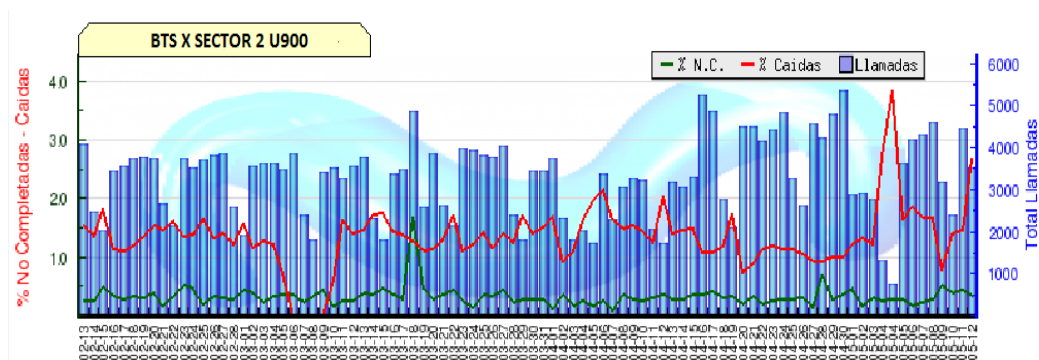


Figura 4.16: Ejemplo de degradación en el porcentaje de caídas

En este ejemplo de la Figura 4.16 se observa un nivel aproximadamente igual del tráfico en la celda, pero un aumento en el porcentaje de llamadas caídas, por lo que es necesario meter un paso más de atenuación en el sector y conseguir que disminuya este porcentaje.

3. **Ha aumentado el tráfico y por lo tanto, también el número de llamadas caídas.** Se debe introducir más atenuación que la que tiene actualmente el sector. Se meterán pasos de atenuación de uno en uno hasta conseguir que el porcentaje de caídas esté, al menos, al mismo nivel que los días previos al *swap*. Es el caso que se presenta en la siguiente figura:

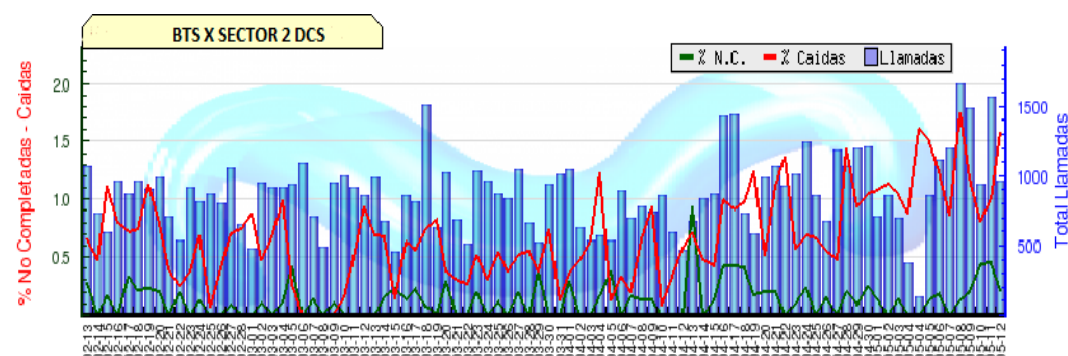


Figura 4.17: Aumento de tráfico y degradación de caídas

A partir del día 4 de Mayo de 2015, el día que se realizó el *swap*, han aumentado el tráfico y el porcentaje de caídas, por lo que hay que atenuar la potencia transmitida para conseguir optimizar la tasa de fallos y conseguir al menos, un nivel similar al anterior, o incluso mejorarlo.

4. **Aumenta el tráfico pero no el porcentaje de llamadas caídas.** Si el aumento de las llamadas realizadas con éxito es muy alto, que no debería ser habitual, puede significar que le está quitando tráfico a una celda vecina, por lo que se debe disminuir la potencia MaxTxPower. Es el caso de la Figura 4.16 del apartado anterior. Para la disminución del valor de este parámetro, se debe acordar con el cliente la nueva potencia de transmisión y vigilar el tráfico de las celdas vecinas que ha podido ser afectado por el aumento del mismo en esta celda. Si, por el contrario, el aumento del tráfico en la celda es muy ligero, no se realizará ningún ajuste de potencia pero se deberá vigilar que no siga creciendo por el motivo anterior.
5. **Aumento del porcentaje de llamadas caídas y disminución del tráfico.** Lo común en esta situación es que se deba a dos posibles motivos. El primero es que existan cables cruzados, el segundo es que falten por definir relaciones de vecindad. Si no se tratase de un caso de sectores cruzados, entonces podemos encontrarnos con la segunda posibilidad indicada en cuyo caso sería necesario verificar los intentos de *handover* con las celdas vecinas y comprobar si hay alguna de ellas que no esté definida como vecindad de esta celda. Se representa este caso en la Figura 4.18:

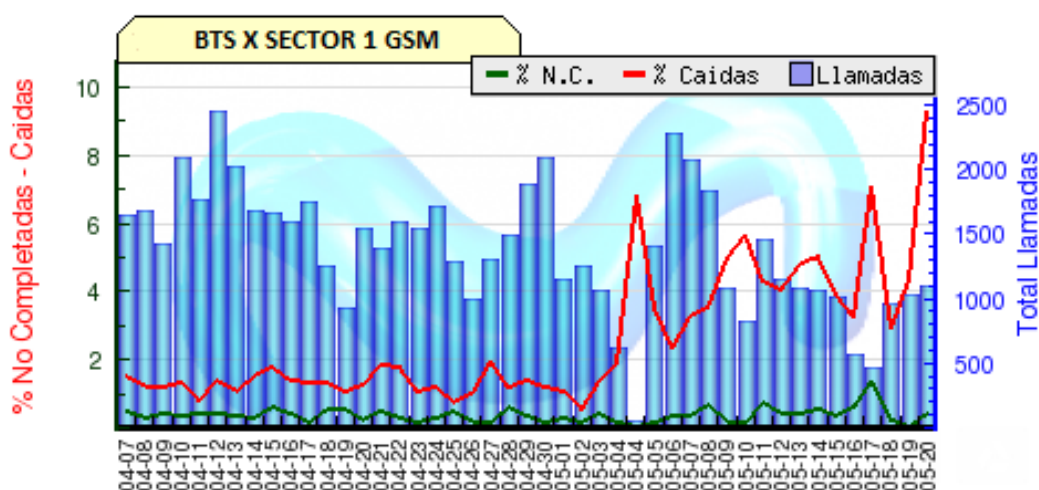


Figura 4.18: Ejemplo de celda con degradación de tráfico y de llamadas caídas

Como se puede apreciar, existen picos altos de caídas a partir del día del *swap*, el 04-05. Sin embargo, el tráfico ha disminuido ligeramente respecto a los días previos al *swap*.

Si no se tratase de ninguno de los dos casos explicados, se debe maximizar la potencia transmitida y aumentarse la atenuación en el sector, hasta que el porcentaje de caídas se establezca en los niveles de los días anteriores al *swap*.

Como se ha explicado en el apartado anterior, se deben observar en conjunto los niveles de tráfico y llamadas caídas en todos los sectores del *site* donde se ha realizado el *swap*, ya que puede deberse a la existencia de sectores cruzados. Lo que significaría que no es un problema de la potencia transmitida ni de la atenuación de la misma, sino un fallo en la instalación de los nuevos equipos y el cableado del mismo.

Cada vez que se realice un ajuste de potencia se debe revisar nuevamente el tráfico total, el porcentaje de llamadas caídas y la posible afectación en las celdas vecinas a la celda en la que se ha realizado el ajuste.

El objetivo de este KPI es, como siempre, conseguir el objetivo impuesto por el operador de red y no superar los límites establecidos de fallos en la red.

4.6.4 Sectores cruzados

Uno de los puntos más importantes en cuanto a la revisión de una obra realizada, es determinar la existencia o inexistencia de sectores cruzados.

Al realizar el cambio de equipo de comunicación del antiguo al nuevo, es necesario cablear correctamente el sistema. Dado que un nodo puede tener uno o varios sectores para cada tecnología integrada, cada sector antiguo debe coincidir con el sector nuevo.

Cada sector se diferencia del otro por el ángulo azimut que tome.

En una antena omnidireccional, solo encontramos un sector, por lo que no nos tenemos que preocupar por la posibilidad de cables cruzados.

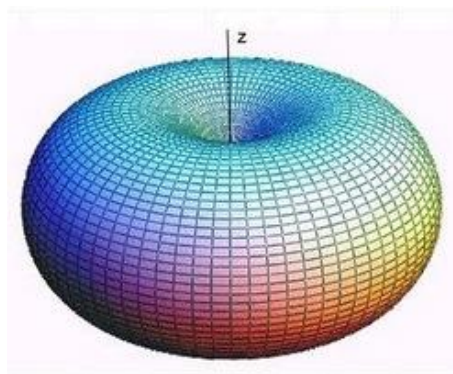


Figura 4.19: Esquema de radiación de una antena omnidireccional [17]

En las antenas direccionales, cada sector aporta cobertura a un área determinada, lo que permite la definición de las “vecindades” de cada celda.

Si en el cambio de equipos los cables han sido conectados de forma distinta a la situación anterior, se debe informar de dicha situación y cablear de forma correcta el equipo.

Una vez realizado el cambio de equipo, es posible que se detecte cruce de sectores debido a los siguientes factores:

1. El tráfico de llamadas después del *swap*, como se ha mencionado en apartados anteriores, debe mantenerse similar al tráfico posterior a la realización del *swap*. Es normal que en el mismo día de la obra, el tráfico se vea afectado, pero en los 2 días posteriores al cambio de equipo, se debe revisar que el tráfico no se vea alterado gravemente, pues esto significaría el no cumplimiento de KPIs y por tanto, se debe encontrar la causa que genera esta situación.

En el caso de cables cruzados, lo normal es encontrar un aumento o una disminución de tráfico respecto a los días previos al *swap* en alguno de sus sectores y lo contrario en otro de ellos.

A modo de ejemplo, supongamos que en un nodo con 2 sectores, S1 y S2, tenemos que la media diaria de tráfico es de 60 llamadas/hora en S1 y de 100 llamadas/hora en S2. El total de tráfico en el nodo sería de 160 llamadas/hora. Si los sectores estuvieran cruzados, nos encontraríamos que después del *swap* las medidas han cambiado de tal forma que en S1 la media sería de 100 llamadas/hora y en S2 de 60 llamadas/hora. Es decir, el total se mantiene, pero el tráfico se ha invertido en los dos sectores.

2. Cada sector tiene definidas una serie de vecindades, que son las celdas de nodos vecinos o del propio nodo con las que el sector hace *handover*. La definición de estas vecinas, permite que distingamos más fácilmente si nos hemos encontrado con un caso de cables cruzados.

Debemos observar cuáles son aquellas vecinas con las que S1 hacía más *handover* en los días previos al *swap* y compararlas con las de S2. Tendremos que hacer esta comprobación con varias celdas vecinas para confirmar la existencia de sectores cruzados o descartar esta situación.

En la Figura 4.20, podemos situar el nodo en el emplazamiento en el que se encuentra y distinguir los distintos sectores que lo forman. Los sectores quedan representados de esta forma:

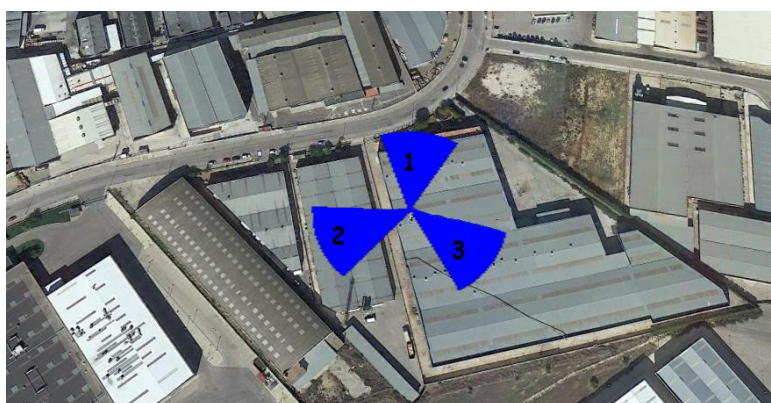


Figura 4.20: Sectores de un nodo

Se pueden distinguir 3 zonas coloreadas, que corresponden a cada uno de los sectores del nodo al que pertenecen. Cada zona coloreada marca el inicio del área de cobertura que proporciona el sector, y así, podemos dibujar de forma aproximada el área abarcada por cada uno de ellos.

Los nodos más cercanos a este, tendrán sectores que estarán definidos como vecindades de cada uno de los sectores del primer nodo. Así, podremos observar cuáles son las vecindades más cercanas a los sectores del nodo que estamos revisando, y mediante una tabla en la que se reportan los intentos de llamada de cada sector de nuestro nodo, conseguir llegar a la conclusión de la existencia o inexistencia de sectores cruzados.

Se estudia un ejemplo de un nodo en el que se ha realizado un *swap* en el que comprobaremos si existen sectores cruzados, a partir de la siguiente situación:

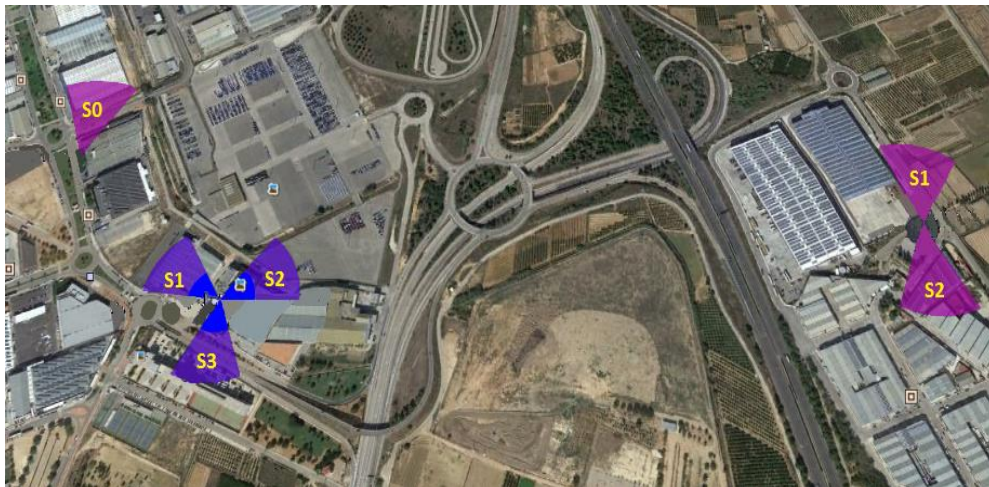


Figura 4.21: Representación de tres nodos con sus respectivos sectores

En la Figura 4.21, se representan tres nodos, donde cada uno de ellos tiene sus sectores correspondientes. Llamamos nodo X al que tiene tres sectores indicados, S1, S2 y S3 y se encuentra a la izquierda de la imagen. El nodo A, a la derecha de la figura, será el que tiene dos sectores, S1 y S2, y por último, el nodo B, aquel que tiene un solo sector, S0.

Cada sector de cada nodo, realizará *handover* con los sectores más cercanos. El mayor número de *handovers* los realizará con sus vecinas *cosite*, es decir, con el resto de sectores de su mismo nodo. Si nos fijamos en la Figura .4.21, la lógica nos dice que, por ejemplo, el sector S1 del nodo X, realizará más *handovers* con el S2 de este mismo nodo, y menos con el S1 del nodo A.

Una vez localizado el *site* y la situación de los nodos cercanos a éste, el siguiente paso requiere la comprobación, como se ha explicado en el párrafo anterior, de que el tráfico en cada celda se ha mantenido en la misma línea que los días previos al *swap*. Hay que tener en cuenta que no basta únicamente con revisar los intentos de *handover* de cada celda, sino que también es importante comprobar el porcentaje de llamadas caídas o llamadas no conectadas respecto a estos intentos de *handover*. Es trascendental que estos dos porcentajes sean mínimos, de lo contrario, es posible que algo en la realización del *swap* se haya realizado de manera incorrecta y requiera la asistencia del técnico a la BTS para acreditar que todo ha quedado de la forma deseada.

La siguiente tabla nos mostrará los datos del sector 2 del nodo X representado en la Figura 4.21, en los días 8 de Junio, el día previo al *swap*, y el día 10 de Junio, que corresponde al día posterior al *swap*.

A continuación se explicará en qué consiste cada columna de la tabla y la importancia de estas cantidades.

FECHA	BSC	CELDA ORIGEN	CGI DESTINO	CELDA DESTINO	HO ATT TO ADJ	HO SUCC TO ADJ	HO FAIL TO ADJ	HO FAIL RESOUR TO ADJ	HO ATT FROM ADJ	HO SUCC FROM ADJ	HO FAIL FROM ADJ	HO FAIL RESOUR FROM ADJ
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-693	BSC_X_S1	66	61	5	5	58	58	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-3031	BSC_X_S3	62	61	1	0	49	49	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-7651	BSC_A_S1	17	17	0	0	17	17	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-696	BSC_A_S2	8	8	0	0	7	7	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-691	BSC_B_S0	4	2	2	2	4	4	0	0
FECHA	BSC	CELDA ORIGEN	CGI DESTINO	CELDA DESTINO	HO ATT TO ADJ	HO SUCC TO ADJ	HO FAIL TO ADJ	HO FAIL RESOUR TO ADJ	HO ATT FROM ADJ	HO SUCC FROM ADJ	HO FAIL FROM ADJ	HO FAIL RESOUR FROM ADJ
08/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-693	BSC_X_S1	43	43	0	0	43	43	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-3031	BSC_X_S3	40	39	1	0	41	41	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-7651	BSC_A_S1	23	23	0	0	23	23	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-696	BSC_A_S2	8	8	0	0	9	9	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-691	BSC_B_S0	3	3	0	0	8	8	0	0

Figura 4.22: Tabla de *handovers* de una celda concreta

La primera columna indica la fecha en la que se han tomado los datos de esta celda. La segunda columna, es la BSC a la que pertenece la celda a revisar. La siguiente columna, contiene el nombre de la celda. La cuarta columna indica el CGI, formado por el LAC (las cuatro primeras cifras) y el CI (el bloque de cifras restante) de la celda de destino, es decir, de la celda vecina con la que ha hecho intento de *handover*. La quinta columna es el nombre de la celda destino, es decir la vecindad a la cual pertenece el CGI de la columna cuatro.

La sexta columna de la tabla indica el número de intentos de llamada realizados desde la celda origen a la celda destino, esto es, la cantidad de veces que se ha intentado hacer *handover* desde la celda estudiada hacia una de sus vecinas. En la siguiente columna se definen cuántos de estos intentos han sido satisfactorios y en la octava columna, cuántos han resultado fallidos. En la novena columna se indican cuántos de los intentos fallidos han sido a causa de la celda origen. Las últimas cuatro columnas indican los mismos parámetros que las cuatro anteriores, pero siendo la celda origen la que antes considerábamos la celda destino y la celda destino, nuestra celda estudiada.

El *swap* se realizó el día 7 de Junio y, como podemos ver, la cantidad de intentos de *handover* con sus vecinas son aproximadamente los mismos en ambos días, tanto en una dirección como en la contraria, por lo que, en un principio, podríamos entender que no estamos ante un caso de cables cruzados.

Sin embargo, esta comprobación no es suficiente, sino que se deben estudiar conjuntamente todos los sectores del nodo donde se ha realizado un *swap*, comparando el número de intentos de *handover* de cada celda con sus vecinas en los días indicados previamente.

A continuación veremos una comparación de intentos de *handover* en cada uno de los sectores del nodo X, en el día anterior y posterior al *swap*.

FECHA	BSC	CELDA ORIGEN	CGI DESTINO	CELDA DESTINO	HO ATT TO ADJ	HO SUCC TO ADJ	HO FAIL TO ADJ	HO FAIL RESOUR TO ADJ	HO ATT FROM ADJ	HO SUCC FROM ADJ	HO FAIL FROM ADJ	HO FAIL RESOUR FROM ADJ
10/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-693	BSC_X_S2	66	61	5	5	58	58	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-3031	BSC_X_S3	62	61	1	0	49	49	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-7651	BSC_B_S0	58	58	0	0	56	56	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-696	BSC_A_S1	24	24	0	0	26	26	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-691	BSC_A_S2	17	15	2	2	13	13	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-693	BSC_X_S1	66	65	1	0	58	58	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-3031	BSC_X_S3	62	61	1	0	49	49	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-7651	BSC_B_S0	44	44	0	0	35	35	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-696	BSC_A_S1	30	30	0	0	31	31	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-691	BSC_A_S2	29	27	2	0	24	24	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-693	BSC_X_S1	63	63	0	0	61	61	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-3031	BSC_X_S2	60	59	1	0	62	62	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-691	BSC_A_S2	19	19	0	0	22	22	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-696	BSC_A_S1	8	8	0	0	9	9	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-7651	BSC_B_S0	2	2	0	0	1	1	0	0
FECHA	BSC	CELDA ORIGEN	CGI DESTINO	CELDA DESTINO	HO ATT TO ADJ	HO SUCC TO ADJ	HO FAIL TO ADJ	HO FAIL RESOUR TO ADJ	HO ATT FROM ADJ	HO SUCC FROM ADJ	HO FAIL FROM ADJ	HO FAIL RESOUR FROM ADJ
08/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-693	BSC_X_S2	59	59	0	0	57	57	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-3031	BSC_X_S3	58	58	0	0	53	53	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-7651	BSC_B_S0	57	57	0	0	51	51	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-696	BSC_A_S1	28	27	1	0	24	24	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-691	BSC_A_S2	16	16	0	0	17	17	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-693	BSC_X_S1	67	67	0	0	63	63	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-3031	BSC_X_S3	40	40	0	0	41	41	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-7651	BSC_B_S0	38	38	0	0	23	23	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-696	BSC_A_S1	29	28	1	0	26	26	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-691	BSC_A_S2	23	23	0	0	22	22	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-693	BSC_X_S1	60	58	2	0	57	57	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-3031	BSC_X_S2	58	58	0	0	55	55	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-691	BSC_A_S2	20	20	0	0	23	23	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-696	BSC_A_S1	6	6	0	0	7	7	0	0
08/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-7651	BSC_B_S0	2	2	0	0	2	2	0	0

Figura 4.23: Tabla de *handovers* de varias celdas

En la Figura 4.23 se presentan los intentos de *handover*, con sus correspondientes intentos satisfactorios y fallidos de los tres sectores que componen la BTS X de la Figura 4.21. El día 8 de Junio corresponde al día previo al *swap* y el día 10 de Junio, al día posterior al *swap*. Cada sector hace un número de *handover* con el resto de sectores. Una forma fácil de comprobar si existe cruce de sectores es comparar si el tráfico de una celda hacia sus sectores vecinos ha cambiado de un día a otro y si, de igual forma, otra de las celdas de la misma BSC ha variado también en los intentos de *handover* con sus vecinas.

Por ejemplo, en la Figura 4.22, nos fijamos en el sector tres de la BSC X y de sus intentos de *handover*. Si comparamos un día con otro, podemos apreciar que apenas varía el número de intentos, y lo mismo pasa en los otros dos sectores de la BSC X.

Sin embargo, si los intentos de *handover* entre la celda BSC_X_S3 y la celda BSC_A_S1, pasaran de una media de 2 en el día anterior al *swap*, a una media de 40 intentos el día posterior al *swap*, el siguiente paso sería comprobar si el número de intentos desde la celda BSC_X_S2 hacia BSC_A_S1 ha disminuido considerablemente.



Pongamos el siguiente escenario, manteniendo los valores en el día 8 de Junio en la BSC X, ahora nos encontramos con los valores de la Figura 4.24 para día 10 de Junio.

FECHA	BSC	CELDA ORIGEN	CGI DESTINO	CELDA DESTINO	HO ATT TO ADJ	HO SUCC TO ADJ	HO FAIL TO ADJ	HO FAIL RESOUR TO ADJ	HO ATT FROM ADJ	HO SUCC FROM ADJ	HO FAIL FROM ADJ	HO FAIL RESOUR FROM ADJ
10/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-693	BSC_X_S1	60	58	2	0	57	57	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-3031	BSC_X_S2	58	58	0	0	55	55	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-691	BSC_A_S2	20	20	0	0	23	23	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-696	BSC_A_S1	6	6	0	0	4	4	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S1	4603-7651	BSC_B_S0	1	1	0	0	1	1	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-693	BSC_X_S1	66	65	1	0	58	58	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-3031	BSC_X_S3	62	61	1	0	49	49	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-7651	BSC_B_S0	44	44	0	0	35	35	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-696	BSC_A_S1	30	30	0	0	31	31	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S2	4603-691	BSC_A_S2	29	27	2	0	24	24	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-693	BSC_X_S2	59	59	0	0	57	57	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-3031	BSC_X_S3	58	58	0	0	53	53	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-7651	BSC_B_S0	57	57	0	0	51	51	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-696	BSC_A_S1	28	27	1	0	24	24	0	0
10/06/2015	X	BSC_X_S3	4603-691	BSC_A_S2	16	16	0	0	17	17	0	0

Figura 4.24: Tabla de *handovers* en caso de sectores cruzados

En la tabla se puede apreciar que los intentos de HO entre los sectores S1 y S3 han variado en ambas celdas con respecto a sus vecinas. Fijándonos en el caso del sector 1 con la celda BSC_B_S0, el tráfico ha disminuido y de forma inversamente proporcional, el tráfico ha aumentado entre las celdas BSC_X_S3 y BSC_B_S0. Igual que ha pasado en estos dos casos, ocurre en el resto de intentos de *handover* entre estas celdas con sus vecinas. Es decir, a la vez que en un sector ha aumentado el tráfico con unas vecinas respecto al día previo al *swap*, en otro de los sectores, habrá disminuido el tráfico con estas vecinas.

Si se diera este caso, podríamos encontrarnos ante una situación de sectores cruzados, por lo que sería necesario dejar pasar un día más y comprobar si continúa sucediendo lo mismo. En caso afirmativo, el técnico debe acudir al *site* y hacer la comprobación pertinente del cableado en las antenas y corregir este error.

Una vez resuelto el problema de cables cruzados, se deben repetir de nuevo todos los pasos dados para comprobar que, efectivamente, todo funciona correctamente y se puede pasar al siguiente bloque de nuestro esquema.

4.6.5 Área de cobertura

Cada sector de la antena aporta cobertura a un área concreta, que dependerá también del número de terminales a los que da soporte.

Uno de los parámetros a tener en cuenta, es la distancia máxima a la que una celda es capaz de radiar potencia. La realización de un *swap* debe conseguir que el nuevo sistema radiante sea capaz de aportar cobertura, al menos, a la misma área que el antiguo sistema.

Al revisar la distancia máxima podemos encontrarnos distintos escenarios:

1. La distancia a la que radia la antena es aproximadamente igual a la que ofrecía el sistema anterior. Este sería el resultado deseado a la hora de revisar el *swap* realizado.
2. La distancia máxima a la que radia la antena es menor que la que alcanzaba con el sistema previo. En este caso, se debe revisar la potencia de la antena, que como hemos comentado antes, en la mayoría de los casos debe ser la máxima, 40W, en el caso de tener un solo transceptor por sector o 40W divididos entre el número de transceptores del sector a revisar.
3. La distancia máxima es mayor que la alcanzada con el sistema anterior, es decir, el nuevo sistema es capaz de dar cobertura a mayor distancia. En este caso, podríamos pensar que esta es la situación perfecta puesto que aumenta el área de cobertura, sin embargo debemos comprobar que al tener mayor alcance, no se haya dejado de aportar cobertura en las distancias más cortas de la antena, puesto que esto provocaría la pérdida de algunas vecindades que previamente sí estaban definidas.

Con el sistema radiante anterior, la red de comunicaciones estaba formada por la definición de vecindades entre antenas o sistemas radiantes. Este hecho, implica que con la realización del *swap*, no se deben perder esas definiciones de vecindades porque esto podría provocar caídas en las llamadas, ya que los *handovers* no se realizarían correctamente.

Para solucionar los problemas presentados en los puntos 2) y 3) anteriores, debemos prestar atención a un parámetro llamado "*tilt*". Se puede definir como el ángulo formado por el plano horizontal que cruza la antena y la inclinación de la misma hacia el suelo.

En la Figura 4.25, podemos apreciar la forma de medir el *tilt*. Su nombre técnico es ángulo de *downtilt*, puesto que es el ángulo de inclinación hacia abajo con respecto al eje vertical perpendicular al horizonte. La "H" del dibujo corresponde a la altura de la antena.

El radio interior de la antena indica el punto más próximo al sistema radiante que es capaz de alcanzar el área de cobertura.

De la misma forma, el radio exterior de cobertura, indica el punto más alejado al que es capaz de otorgar cobertura la celda indicada.

Dentro de esta área de cobertura estarán comprendidas todas las vecindades definidas de esta celda. Si alguna vecindad no está dentro de esta área de cobertura, se eliminará dicha vecindad y por tanto, no se podrán producir *handovers* entre dichas vecindades.

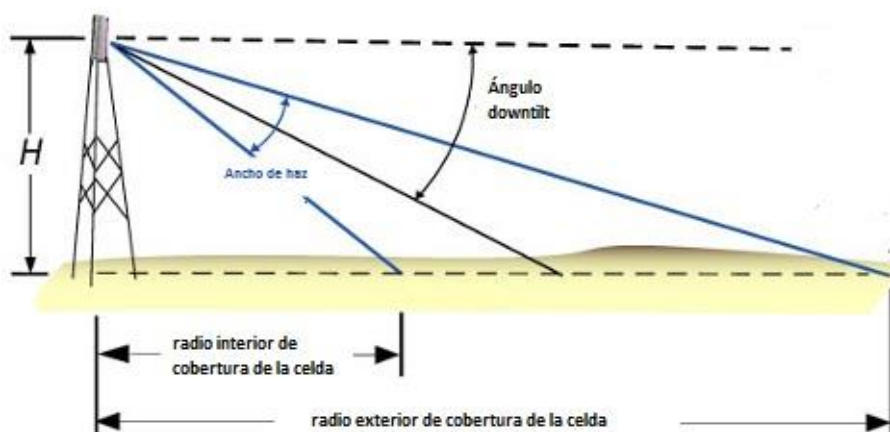


Figura 4.25: Parámetro tilt de una antena [28]

El sistema radiante, tendrá un mayor o menor *tilt* dependiendo del resultado buscado. Veamos los casos descritos anteriormente:

En el caso 2), el *tilt* debería disminuir de tal forma que el ángulo de inclinación con respecto a la línea imaginaria paralela a tierra sea menor, y así provocar que el área de cobertura sea mayor al conseguir que las ondas recorran mayor distancia hasta alcanzar la tierra.

En el caso 3), deberíamos llevar a cabo el procedimiento contrario, aumentando el *tilt* para que la antena apunte a tierra a una distancia más corta que en el caso anterior. Como hemos explicado, el hecho de que el *tilt* sea menor puede tener como consecuencia la pérdida de vecindades en distancias cortas.

Una vez realizado este cambio para intentar conseguir el resultado más satisfactorio, debemos revisar nuevamente las distancias máximas alcanzadas con la nueva parametrización y continuar hasta obtener el sistema mejor posible, teniendo siempre en cuenta la obligación de mantener las vecindades que estaban definidas anteriormente.

Además con cada cambio realizado después del *swap*, de debe revisar nuevamente el tráfico de cada celda, los intentos de *handover* con sus vecinas y comprobar que los niveles obtenidos sean los requeridos por el cliente. De esta forma, se conseguiría la aceptación del *site* en la tecnología donde se ha realizado el *swap*.

A modo de ejemplo, en la gráfica de la Figura 4.26 se presenta el alcance de una celda determinada. En el eje de abscisas se numera la distancia en metros a la que se han realizado los intentos de llamada. En el eje de ordenadas, se indican el número de llamadas realizadas en cada distancia del eje de abscisas.

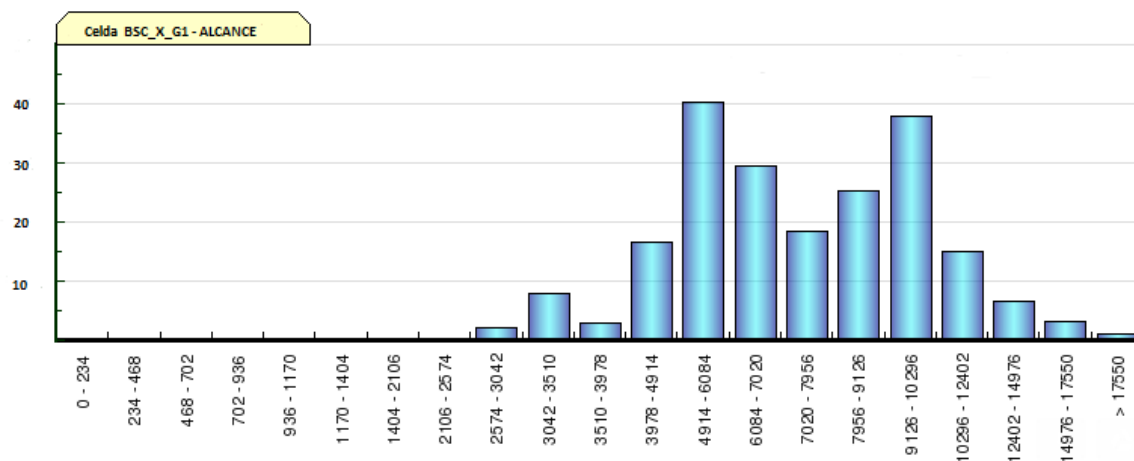


Figura 4.26: Ejemplo de sobrealcance

Como se puede ver en este ejemplo, en los puntos más cercanos a la estación base no se han realizado llamadas, es decir, no hay tráfico en la celda. Sin embargo, a partir de los 2 km de distancia, empiezan a producirse llamadas. Se aprecia el pico más alto de tráfico entre los 5 y los 6 km de distancia desde la BTS.

A partir de aquí se debe comprobar dónde está situada la BTS, es decir, si tiene a su alrededor alguna población cercana a la que debe aportar cobertura o si por el contrario, la antena de la estación está situada en un punto medio entre varias poblaciones rurales y debe dar cobertura a todas ellas.

Además se deben contrastar los datos del alcance medido en el *drive test pre-swap* con los de esta gráfica y a partir de ahí, decidir si existe sobrealcance a partir de la realización del *swap* ó si de lo contrario, se mantienen los mismos niveles de tráfico a esas distancias.

El caso de esta figura, nos da a entender que el *tilt* de la antena tiene un valor muy bajo de tal forma que la antena apenas queda inclinada hacia tierra, sino que está apuntando casi en paralelo a la línea de tierra. Por lo que en el caso de que exista población muy cercana a la antena, ésta no aportaría cobertura en el área de la población.

Una vez hecha la comparación entre las medidas *pre-swap* y la gráfica anterior, en el caso de que el área de cobertura haya aumentado de tal forma que no cubra el área más cercana a la estación, y sí la cubriera previamente, se debe de realizar un cambio de *tilt*, aumentando el valor y por lo tanto, la inclinación de la antena hacia tierra. Si por lo contrario, la situación actual es similar a la que se daba en los días anteriores al *swap*, no sería necesario realizar ningún cambio de *tilt*, y quedaría aceptado el alcance proporcionado por la celda.

4.7 Gestión y aceptación

El último paso para llegar a la finalización del proyecto, es conseguir la aceptación por parte del cliente, el operador dueño de la red donde se ha realizado un *swap*, en todos los clústers donde se ha refrescado la red.

Como se ha dicho en los capítulos introductorios, un clúster está formado por un número determinado de estaciones base, que para cada clúster serán diferentes. Así un clúster formado por 100 estaciones, debe de tener con *swap* realizado, revisadas y optimizadas todas sus estaciones, y además con los KPIs aceptados.

La empresa que se encarga de la realización de toda la obra para el operador de red, recibirá el importe acordado en contrato por parte del cliente por cada *swap* que consiga la total aceptación por parte del operador.

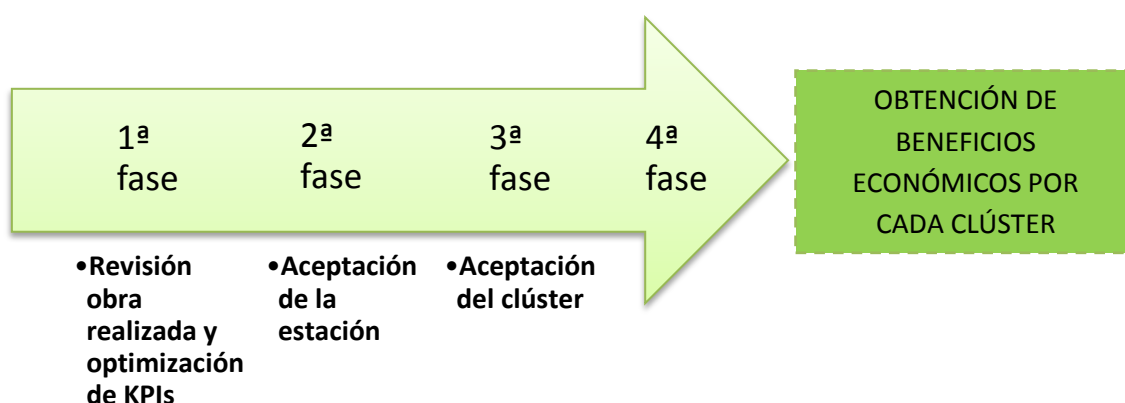


Figura 4.27: Proceso de aceptación total

Como último paso para conseguir la total aceptación, se realizan nuevas medidas de *drive test* en puntos concretos del clúster, y si los KPIs de todas estas últimas medidas realizadas se cumplen, el cliente consolida la aceptación del clúster.

Es importante que un clúster quede aceptado, pues significa que un área amplia de territorio en la que se han modernizado los equipos de comunicaciones está ofreciendo los servicios estimados por el cliente y las prestaciones han cumplido el objetivo marcado.

Una vez conseguida la aceptación de todos los clústers que forman parte del proyecto de actualización de la red, el proyecto finalizará y la red queda modernizada.

Concluido el proyecto, se consigue el objetivo de los sistemas de comunicaciones, que buscan un envío, transmisión y recepción de la información con la mejor calidad y velocidad posible.

Capítulo V: Seguimiento y optimización de un swap en una localización real

La parte final de esta memoria se dedicará al seguimiento de la realización de un *swap* realizado el día 7 de Agosto en una localidad rural de la provincia de Soria, cuyo emplazamiento llamaremos A por motivos de confidencialidad con la empresa dedicada a realizar el *swap* en dicha localización.

En este *site* se van a realizar al mismo tiempo dos trabajos distintos, por un lado un *swap* de G900 y por otro lado la implantación de U900. Es importante tener en cuenta la implantación de la tecnología 3G para la distribución de los módulos en la estación, sin embargo, se seguirá únicamente la evolución y los trabajos a realizar sobre el *swap* de GSM, ya que es el proyecto llevado a cabo en la realización de esta memoria.

La situación geográfica del emplazamiento A se muestra en la siguiente figura:



Figura 5.1: Situación geográfica del emplazamiento A.

En la Figura 5.1, se observa la existencia de tres sectores en la BTS, que cubrirán un área estipulada por el operador de red. Con la situación del *site* y la orientación de los sectores, se pretende ofrecer cobertura a la carretera que se puede observar en el mapa, por lo que habrá dos sectores orientados hacia la misma de forma que se cubra el mayor trayecto posible. El sector tres pretende cubrir una población que se encuentra cerca de la BTS.

El acta de replanteo de este emplazamiento es el siguiente:

ACTA DE REPLANTEO SINGLE RAN							
NOMBRE DEL SITE	LOCALIZACIÓN REAL A						
CÓDIGO SITE	4200041	FECHA REPLANTEO	18/05/2015	PROPIEDAD	X		
DIRECCIÓN	SORIA, ESPAÑA						
ACCESO RECINTO	CANDADO ABLOY			ACCESO CASETA	LLAVE ABLOY		
CONTRATA	ELEC NOR			TIPO EMPLAZAMIENTO	MACRO RURAL		
COORDENADAS	X: 561510		Y: 4624790		HUSO: 30		

OBRAS A REALIZAR (MARCAR)							
IMP U900	SWAP G900	SWAP 1800	SWAP 2100	IMP U2100	AMP 2100	AMP U900	SWAP U900
X	X						

TIPO DE ESPACIO	MARCAR	DESCRIPCIÓN/ MODELO
CASETA	X	CASETA EB10 DE HORMIGÓN
HABILITACIÓN		
OTROS		

ESTADO ACTUAL EMPLAZAMIENTO (BREVE DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO, TECNOLOGÍA, EQUIPOS, ETC)

G900: EN TORRE 3 ANTENAS PANEL K-739650 INSTALADAS SIN MHAS. EN CASETA, RBS2207 CON 3 SECTORES CONECTADOS.

EQUIPOS EXISTENTE Y A SWAPEAR					
	G900	DCS 1800	U900	U2100	RÉFLEX
EQUIPO EXISTENTE	RBS2207				
NUEVO EQUIPO					
MÓDULOS SISTEMA	ESMB		FSMF		
MÓDULOS DE SISTEMA 2					
MÓDULO RADIO1	FXDB		FXDB		
MÓDULO RADIO 2					
MÓDULO RADIO 3					

Figura 5.2: Acta de replanteo emplazamiento A, primera parte

Como se puede apreciar en la Figura 5.2, este *site* se encuentra en Soria. En el acta de replanteo se indican las características del emplazamiento y la situación del acceso a los equipos de comunicaciones. En la parte inferior de la figura, se puede ver que previamente al *swap*, ya existía un equipo para la tecnología GSM. Se indican además los módulos que se van a utilizar en la actualización de la red, tanto para el *swap* de GSM como para la implantación de U900. No se indica que haya sectores *réflex*, por lo que solo contaremos con los sectores que correspondan a las dos tecnologías comentadas.

Los módulos para ambas tecnologías son del tipo FXDB, que son módulos de radiofrecuencia capaces de transmitir y recibir señales de múltiples tecnologías de radio.

En la Figura 5.3 se exponen con detalle las características del nuevo equipamiento en la estación, donde se observa que habrá tres sectores de GSM y tres sectores de U900. Para cada sector se indica el tipo de antena a utilizar, el azimut de dicho sector y el número de frecuencias de portadora que componen dichos sectores.

NUEVAS ANTENAS								
	SECTORES	Nº ANTENAS	MODELO	ORIENT.	DE/DM	ALTURA	DISTR/COMPA	PORTADORAS
GSM 900	SEC 1º	1	K 739 650	70º	0º/3º	38	DISTRIBUIDO	2
	SEC 2º	1	K 739 650	170º	0º/2º	38	DISTRIBUIDO	2
	SEC 3º	1	K 739 650	270º	0º/3º	38	DISTRIBUIDO	2
	SEC 4º REFLEX							
	SEC 5º REFLEX							
DCS 1800	SEC 1º							
	SEC 2							
	SEC 3							
UMTS 2100	SEC 1º							
	SEC 2º							
	SEC 3º							
	SEC 4º							
UMTS 900	SEC 1º	1	K 739 650	70º	0º/3º	38	DISTRIBUIDO	1
	SEC 2	1	K 739 650	170º	0º/2º	38	DISTRIBUIDO	1
	SEC 3	1	K 739 650	270º	0º/3º	38	DISTRIBUIDO	1
	SEC 4							
LTE 1800	SEC 1º							
	SEC 2							
	SEC 3							

Figura 5.3: Acta de replanteo emplazamiento A, segunda parte

Como se indica en la figura, las antenas serán de tipo distribuido, para mejorar la calidad de la señal debido a encontrarse la estación en una zona rural. La estación quedará compuesta por tres antenas, una por sector, donde cada una de ellas estará compuesta por dos TRX en el caso de GSM y uno en el caso de U900. Además las tres antenas se colocan a la misma altura con respecto a tierra, a 38 metros del suelo.

Como vemos, los azimut de los tres sectores son 70°, 170° y 270° respectivamente. En este caso, se indica además el *tilt* de cada sector, definido en la columna cinco como DE/DM, es decir, “*downtilt* eléctrico/*downtilt* mecánico”. El *tilt* en cada sector cambia, que como se ha explicado en el Capítulo IV, apartado 4.6.5, sirve para aumentar o disminuir la inclinación de la antena y así alejar o acercar el área de cobertura proporcionada por las antenas. Así, el *tilt*, mecánico en este caso, para cada uno de los sectores es de 3°, 2° y 3°, respectivamente.

En la siguiente figura, se muestra la estructura final que tendrá el *site* en el que se ha realizado el *swap* y los trabajos de implantación de 2G y 3G respectivamente.

Como se puede observar, en la figura se indica que los módulos de G900 y U900 están en *RX-sharing*, lo que quiere decir que se comparte el módulo de radio para ambas tecnologías. Además, se aprecia con claridad la existencia de los tres sectores mencionados en el acta de replanteo y por tanto, el uso de tres antenas, una por sector soportando ambas frecuencias.

Se indica de igual forma el tipo de cableado que se utiliza para conectar los módulos con las antenas y el bastidor. En cada tramo se utiliza cable coaxial (COAX) o fibra óptica (F.O) según corresponda dependiendo de lo requerido por el cliente.

Por tanto, en la Figura 5.4 se muestra la organización final de los módulos y antenas en la estación base del emplazamiento A sobre el que se realizan los trabajos antes mencionados.

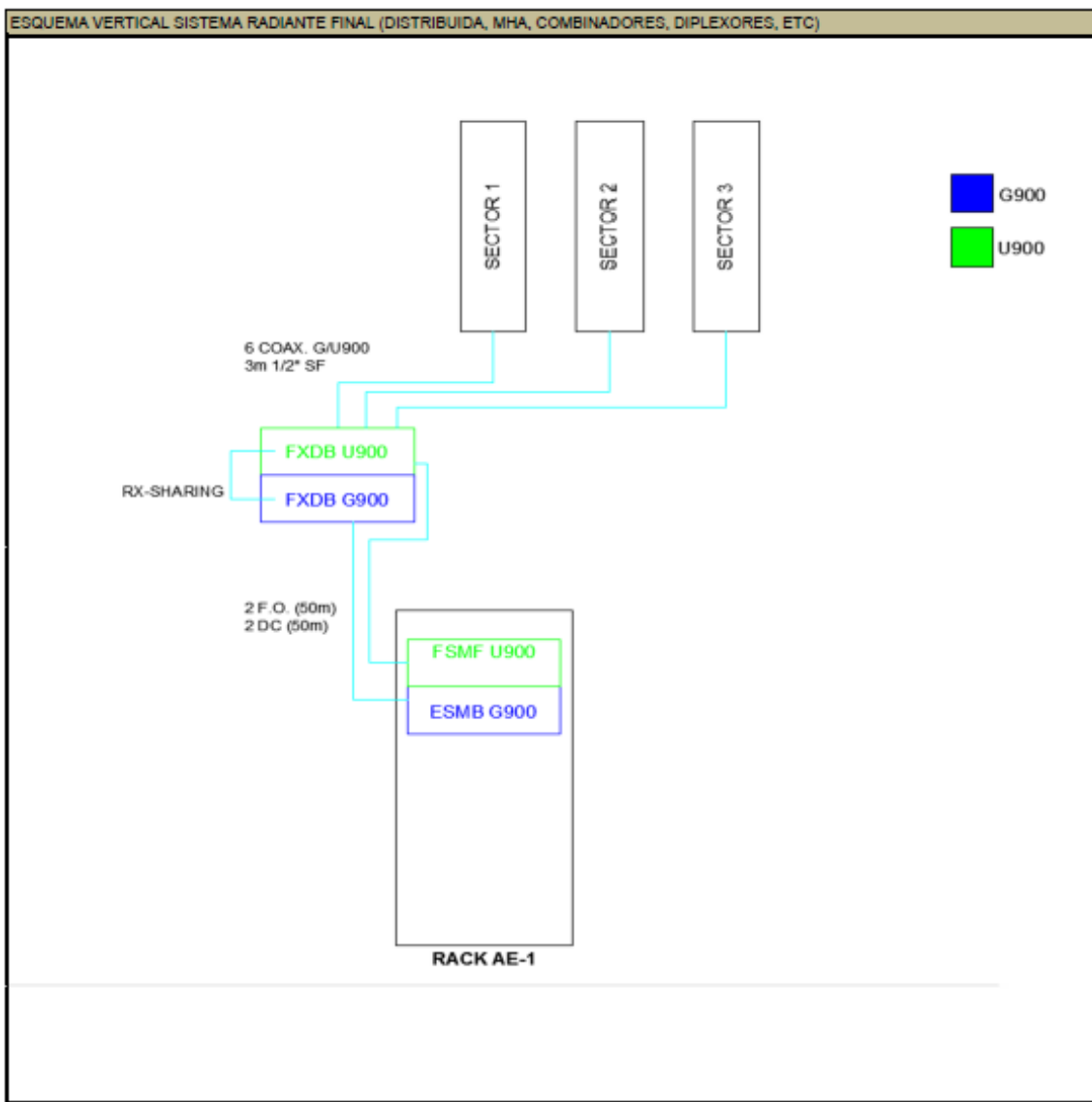


Figura 5.4: Organización final de los módulos y las antenas en el emplazamiento A

Una vez estudiado el acta de replanteo del *site*, se deben realizar las tareas de diseño para las dos tecnologías que habrá en dicho emplazamiento.

Debido a la confidencialidad de este trabajo, no se pueden definir las medidas de los parámetros de diseño de las celdas 2G y 3G, y sólo se mostrarán los resultados del trabajo realizado en el emplazamiento y se estudiarán las formas de mejora para conseguir un resultado óptimo.

A continuación, se muestran las medidas de *drive test pre-swap* llevadas a cabo en el entorno de la estación base para definir unas medidas previas de la situación del sistema ya existente para la tecnología 2G y así poder comparar los resultados obtenidos después de la realización del *swap* en las celdas GSM del *site*.

FECHA TRABAJO	TIPO DE TRABAJO	BTS/RNC	NUMERO DE CELDA	TECNICO GNIC	REVISION GENERAL				FECHA KPIs	HORA KPIs
					FECHA REVISION	HORA REVISION	REVISADO POR	COMENTARIO		
06/08/2015	INTEGRACION	A	G1	A.B.	06/08/2015	14.53.22	A.B.	OK	06/08/2015	13.00.00
06/08/2015	INTEGRACION	A	G2	A.B.	06/08/2015	14.53.22	A.B.	OK	06/08/2015	13.00.00
06/08/2015	INTEGRACION	A	G3	A.B.	06/08/2015	14.53.22	A.B.	OK	06/08/2015	13.00.00

Figura 5.5: Información de las celdas en las que se va a realizar el swap

2G										
TCH availability ratio (100%)	TCH CALL REQ (c57028) (>0)	SDCCH success (>80%)	TCH access probability, real (>90%)	CSSR, voice (>80%)	CONVER STARTED (c57015)	DROPPED CALLS (c57007)	TCH dropped conversation (<10%)	UL EGPRS RLC pay load (kB)	DL EGPRS RLC pay load (kB)	TCH denied new call (%)
100.00	2	100.00	100.00	100.00	1	0	0	184.21	265.85	0
100.00	6	100.00	100.00	100.00	3	0	0	210.03	286.45	0
100.00	7	100.00	100.00	100.00	1	0	0	197.23	254.25	0

Figura 5.6: KPIs de las medidas pre-swap en el emplazamiento A

En la Figura 5.6 se muestran los valores obtenidos con las medidas de *drive test* pre-swap en las celdas de la Figura 5.5. Como ya indica el técnico encargado de obtenerlas, los KPIs están bien, es decir, cumplen las medidas mínimas estipuladas.

Dado que los KPIs están bien (indicados como OK en la Figura 5.5), se lleva a cabo el cambio de módulos y antenas en el emplazamiento el día 7 de Agosto de 2015, además de la integración de la tecnología U900.

Una vez realizado el swap en la localización A, se toman de nuevo medidas de *drive test* para observar cómo ha resultado la ejecución de los trabajos definidos en el emplazamiento, obteniendo las siguientes medidas:

FECHA TRABAJO	TIPO DE TRABAJO	BTS/RNC	NUMERO DE CELDA	TECNICO GNIC	REVISION GENERAL				FECHA KPIs	HORA KPIs
					FECHA REVISION	HORA REVISION	REVISADO POR	COMENTARIO		
07/08/2015	INTEGRACION	A	G1	A.B.	07/08/2015	16.17.33	A.B.	OK	07/08/2015	15.00.00
07/08/2015	INTEGRACION	A	G2	A.B.	07/08/2015	16.17.33	A.B.	OK	07/08/2015	15.00.00
07/08/2015	INTEGRACION	A	G3	A.B.	07/08/2015	16.17.33	A.B.	OK	07/08/2015	15.00.00

Figura 5.7: Información de las celdas en las que se ha realizado el swap

2G										
TCH availabilit y ratio (100%)	TCH CALL REQ (c57028) (>0)	SDCCH success (>80%)	TCH access probability , real (>90%)	CSSR, voice (>80%)	CONVER STARTED (c57015)	DROPPED CALLS (c57007)	TCH dropped conversati on (<10%)	UL EGPRS RLC pay load (kB)	DL EGPRS RLC pay load (kB)	TCH denied new call (%)
100.00	2	100.00	100.00	100.00	1	0	0	193.73	317.50	0
100.00	8	100.00	100.00	100.00	26	1	9.09	639.80	956.95	0
100.00	8	100.00	100.00	100.00	3	0	0	212.35	254.75	0

Figura 5.8: KPIs de las medidas post-swap en el emplazamiento A

Como se puede observar en la Figura 5.8, se ha producido una llamada caída al tomar las medidas *drive test*. Esto nos indica que puede haber algún problema con el tráfico en dicha celda, ya que los dos sectores restantes cumplen KPIs correctamente.

Debido al resultado obtenido, se revisa la situación general del emplazamiento, comenzando por las alarmas. El día 8 de agosto, es decir, el día siguiente a la ejecución del swap, aparecía la siguiente alarma activa:

"RF module Tx path failed; (synthesizer fails to lock)"

Lo que quiere decir que el sector ha estado caído por un fallo en la transmisión del módulo de radiofrecuencia. Dada esta situación, se estudia el tráfico en el emplazamiento a lo largo del tiempo, días después de la realización del swap, obteniendo lo siguiente:

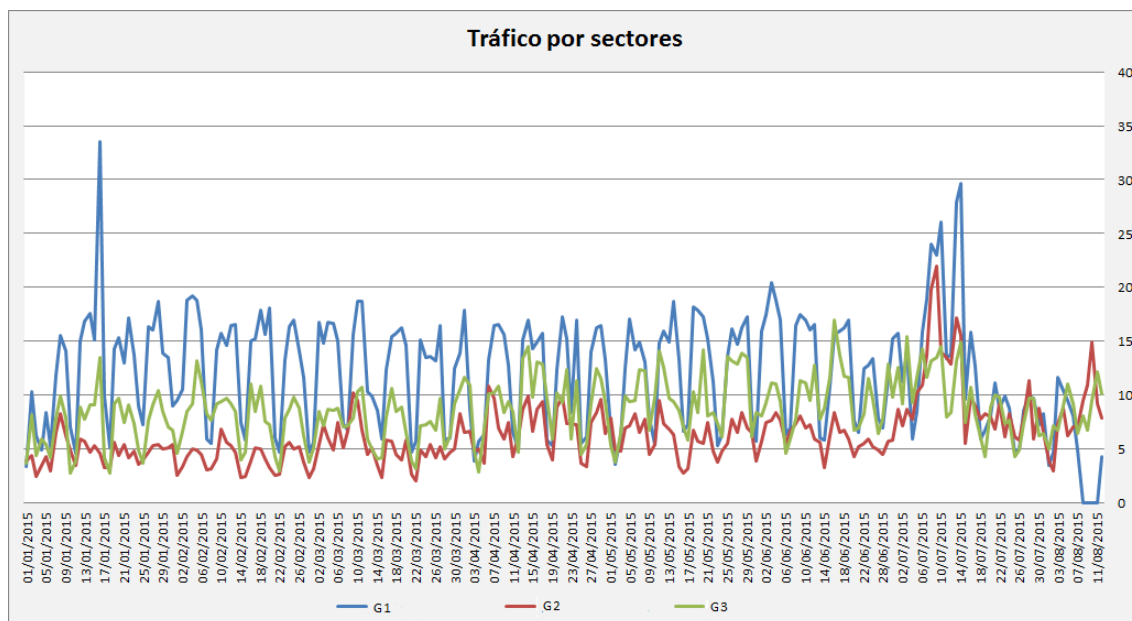


Figura 5.9: Estudio del tráfico dos días después del swap en el site A

En la Figura 5.9 se muestra la evolución del tráfico en el emplazamiento A meses antes del swap y finalmente, la situación del site cuatro días después del swap. Se puede ver que entre los días 7 de Agosto y 11 de Agosto, el sector 1 ha estado caído, es decir, no ha cursado tráfico, sin embargo los sectores 2 y 3 han cursado aproximadamente el mismo nivel de tráfico que los días previos al swap.

Dado este problema, se informa al técnico de obra para que acuda al emplazamiento a revisar el estado de los módulos y arreglar el fallo que se ha dado al realizar el swap.

La contestación obtenida del técnico, una vez revisado el site es que el problema se debe a un fallo en el módulo de radio, que hace que esa entrada, es decir el sector 1, no funcione correctamente, por lo que es necesario reemplazar el módulo FXDB.

Se aprueba el procedimiento planteado por el técnico, que cambia el módulo por uno nuevo.

Además, se revisa el valor del parámetro BsTxPower, y se comparan los valores actuales con los que se definen en el diseño, siendo estos erróneos, de forma que el valor de dicho parámetro en los tres sectores pasa de ser $G1 \rightarrow 0$, $G2 \rightarrow 0$ y $G3 \rightarrow 0$ a $G1 \rightarrow 2$, $G2 \rightarrow 1$ y $G3 \rightarrow 1$. De esta forma se actualiza correctamente el valor del parámetro.

Posteriormente, se continúa observando la evolución del tráfico, obteniendo los siguientes resultados:

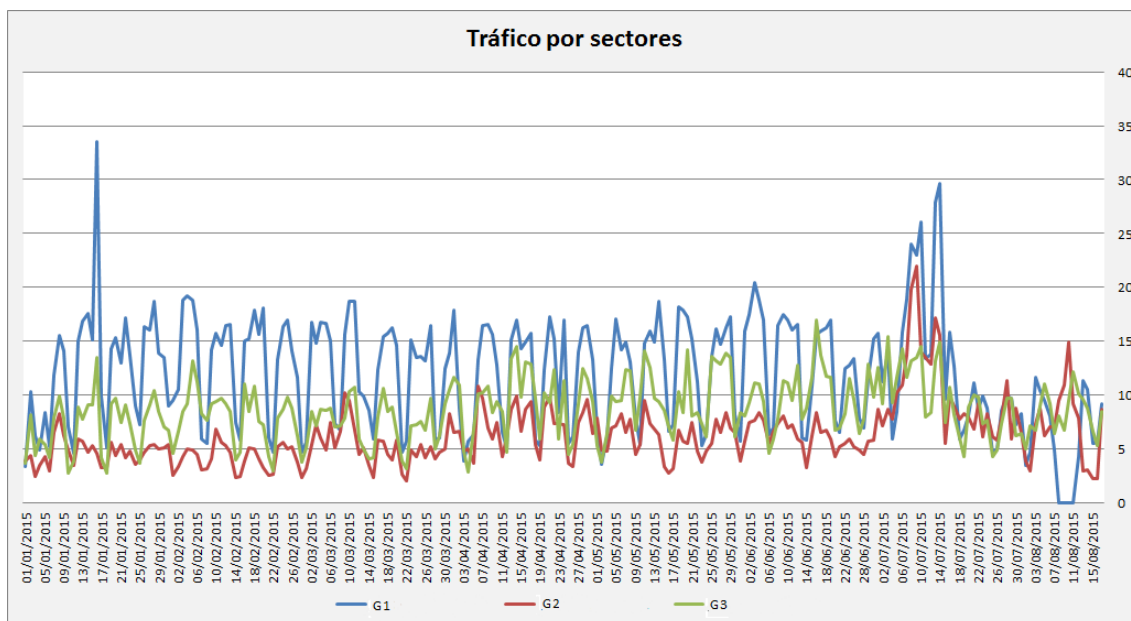


Figura 5.10: Evolución del tráfico hasta el día 15 de Agosto en el emplazamiento A

En la Figura 5.10 se puede observar que a partir del día 11 de Agosto el tráfico en el sector 1 crece, por lo que se da el visto bueno al trabajo realizado por el técnico en el emplazamiento.

Se estudia la situación de todos los sectores, comparando sus niveles con las de los días previos al *swap*. Se puede observar que el tráfico en el sector 2 ha aumentado con respecto a días previos al *swap*, y que el sector 3 mantiene aproximadamente el mismo nivel.

Con esta situación, se requiere disminuir el tráfico en la celda G2 para evitar posible sobrealcance en el sector, por lo que el valor del parámetro BsTxPower cambia, metiendo un paso de atenuación en dicho sector, pasando su valor de 1 a 2.

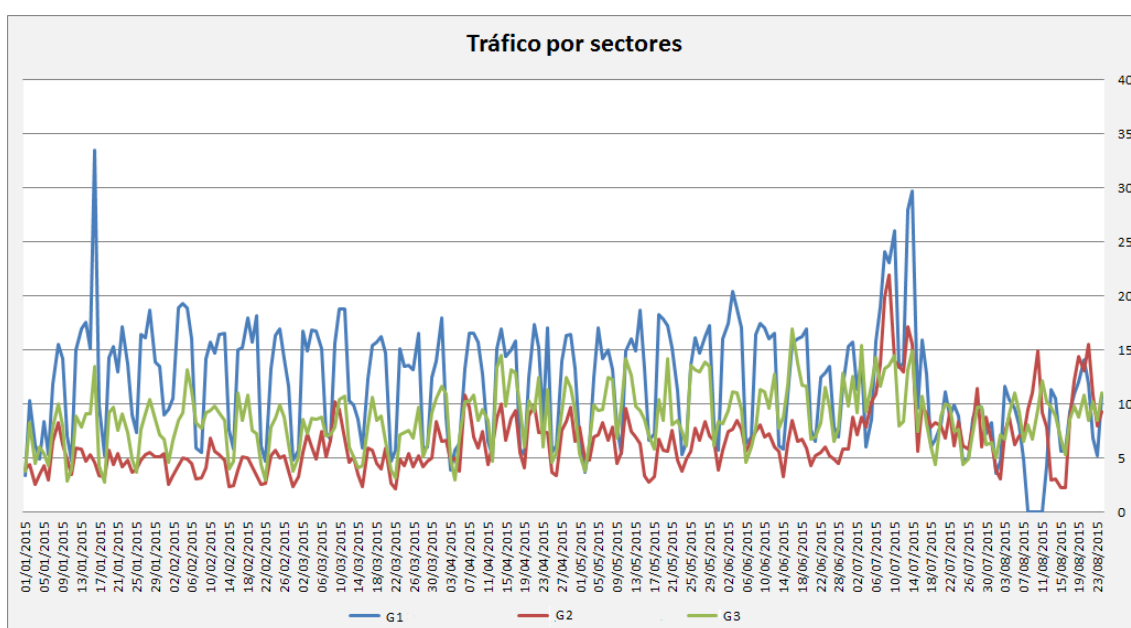


Figura 5.11: Resultados de la evolución del tráfico después de los cambios de BsTxPower en el emplazamiento A

En la Figura 5.11 se observa que los niveles de tráfico de todos los sectores ya se parecen más a los niveles que había anteriormente a la ejecución del *swap*.

En la siguiente figura se muestra la situación final del tráfico para los tres sectores conjuntamente, a día 31 de Agosto de 2015:

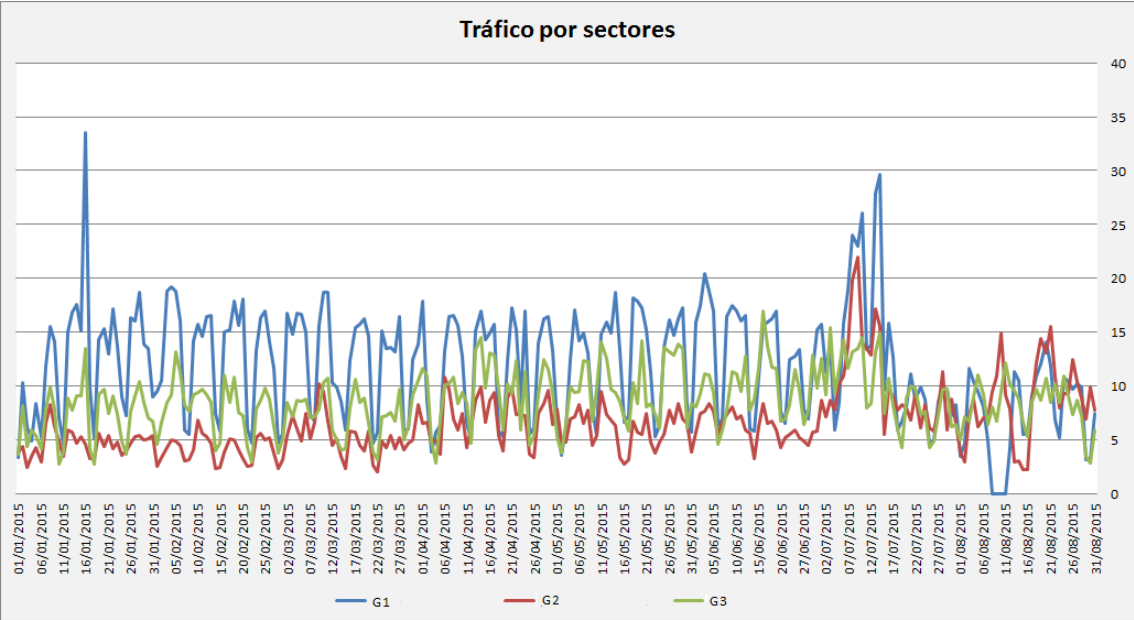


Figura 5.12: Situación final del *site* donde se ha realizado el *swap*

En la Figura 5.12 se observan unos valores de tráfico muy iguales entre los tres sectores, sin caídas bruscas de tráfico, por lo que a continuación se estudian las relaciones de vecindad de cada sector, enfocándose en la realización o no de *handover* con las celdas vecinas.

Se muestran en las siguientes tres figuras las relaciones de vecindad de cada una de las celdas del *site* en el que se ha ejecutado el *swap*, en las que se indica el número de *handovers* realizados con las celdas vecinas, el número de llamadas caídas en cada uno de los casos y las que se han realizado con éxito.

Comenzamos con el sector 1 del *site*:

FECHA	BSC	BTS	CGI DESTINO	CELDA DESTINO	HO ATT	HO SUCC	HO FAIL	HO FAIL RESOUR	HO ATT	HO SUCC	HO FAIL	HO FAIL RESOUR
					TO ADJ	TO ADJ	TO ADJ	TO ADJ	FROM ADJ	FROM ADJ	FROM ADJ	FROM ADJ
2015-09-06	A	A_G1	4202-153	SO_PUERTMADER_G3	113	113	0	0	99	97	2	0
2015-09-06	A	A_G1	4202-2251	=SO_OMENACA_G1	16	16	0	0	16	16	0	0
2015-09-06	A	A_G1	4202-2252	=SO_OMENACA_G2	10	10	0	0	8	7	1	0
2015-09-06	A	A_G1	4202-2241	SO_FUENTETECH_G1	9	9	0	0	7	7	0	0
2015-09-06	A	A_G1	4202-102	214 07 4202 102	6	6	0	0	9	9	0	0
2015-09-06	A	A_G1	4202-2253	=SO_OMENACA_G3	4	4	0	0	12	12	0	0
2015-09-06	A	A_G1	4202-152	SO_PUERTMADER_G2	1	0	1	0	0	0	0	0
2015-09-06	A	A_G1	4202-2502	SO_SANJUAN_G2	0	0	0	0	1	0	1	0

Figura 5.13: *Handovers* realizados por la celda G1

FECHA	BSC	BTS	CGI DESTINO	CELDA DESTINO	HO ATT TO ADJ	HO SUCC TO ADJ	HO FAIL TO ADJ	HO FAIL RESOUR TO ADJ	HO ATT FROM ADJ	HO SUCC FROM ADJ	HO FAIL FROM ADJ	HO FAIL RESOUR FROM ADJ
2015-09-06	A	=SO_OMENACA_G2	4202-101	214 07 4202 101	113	112	1	0	103	103	0	0
2015-09-06	A	=SO_OMENACA_G2	4202-292	214 07 4202 292	69	69	0	0	77	76	1	0
2015-09-06	A	=SO_OMENACA_G2	4202-2582	SO_SANTAANA_G2	64	64	0	0	52	51	1	0
2015-09-06	A	=SO_OMENACA_G2	4202-153	SO_PUERTMADER_G3	61	54	7	0	37	37	0	0
2015-09-06	A	=SO_OMENACA_G2	4202-291	214 07 4202 291	43	43	0	0	61	61	0	0
2015-09-06	A	=SO_OMENACA_G2	4202-2252	=SO_OMENACA_G2	32	32	0	0	32	32	0	0
2015-09-06	A	=SO_OMENACA_G2	4202-2242	SO_FUENTETECH_G2	18	18	0	0	29	29	0	0
2015-09-06	A	=SO_OMENACA_G2	4202-2253	=SO_OMENACA_G3	16	16	0	0	11	11	0	0
2015-09-06	A	=SO_OMENACA_G2	4202-2251	=SO_OMENACA_G1	8	7	1	0	10	10	0	0

Figura 5.14: Handovers realizados por la celda G2

FECHA	BSC	BTS	CGI DESTINO	CELDA DESTINO	HO ATT TO ADJ	HO SUCC TO ADJ	HO FAIL TO ADJ	HO FAIL RESOUR TO ADJ	HO ATT FROM ADJ	HO SUCC FROM ADJ	HO FAIL FROM ADJ	HO FAIL RESOUR FROM ADJ
2015-09-06	A		4202-2502	SO_SANJUAN_G2	80	80	0	0	86	86	0	0
2015-09-06	A		4202-153	SO_PUERTMADER_G3	38	37	1	0	37	37	0	0
2015-09-06	A		4202-2241	SO_FUENTETECH_G1	22	22	0	0	34	34	0	0
2015-09-06	A		4202-2253	=SO_OMENACA_G3	13	13	0	0	13	13	0	0
2015-09-06	A		4202-2251	=SO_OMENACA_G1	12	12	0	0	4	4	0	0
2015-09-06	A		4202-2252	=SO_OMENACA_G2	11	11	0	0	16	16	0	0
2015-09-06	A		4202-2243	SO_FUENTETECH_G3	3	3	0	0	1	1	0	0

Figura 5.15: Handovers realizados por la celda G3

De las tres figuras anteriores, se observa que efectivamente se están realizando *handovers* desde las celdas de nuestro *site* hacia las vecinas de éstas, por lo que la estación funciona correctamente. Además, las llamadas caídas (indicadas en color rojo en todas las tablas) son muy reducidas en todos los sectores, lo cual es un punto muy positivo para la aceptación del emplazamiento.

Por último se muestran sector a sector las gráficas del tráfico y del porcentaje de caídas desde unos días previos al *swap* hasta su estado actual, comenzando por el sector 1:

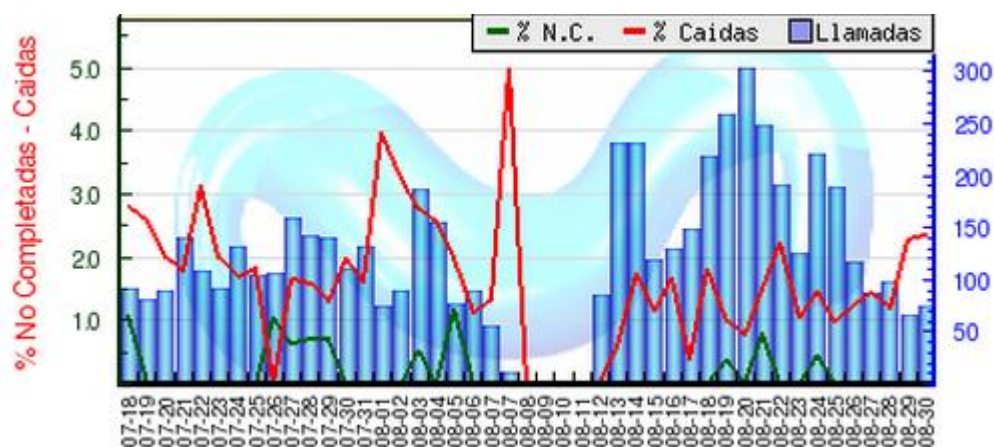


Figura 5.16: Situación final sector G1 site A

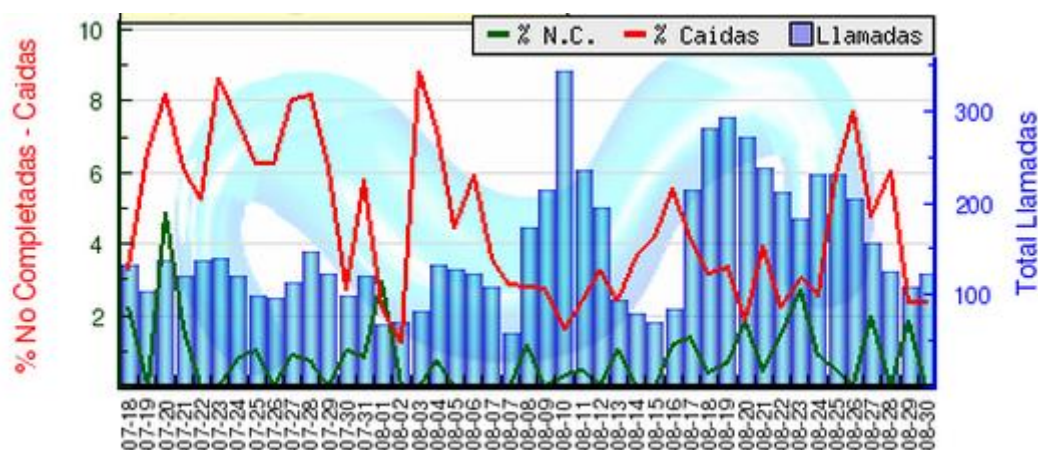


Figura 5.17: Situación final sector G2 *site A*

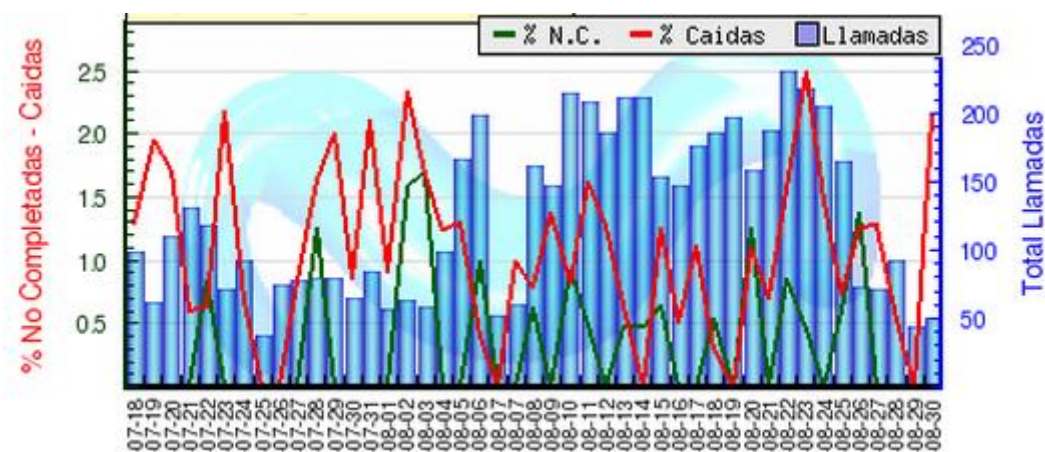


Figura 5.18: Situación final sector G3 *site A*

Como se puede apreciar en las tres figuras anteriores, se ha conseguido establecer unos niveles de tráfico y de porcentaje de llamadas caídas muy similares a las que presentaba el *site* antes de la realización del *swap*, que es el objetivo de este proyecto.

Una vez alcanzado este objetivo, se lleva a cabo la gestión y aceptación del *site* por parte del cliente, es decir, la operadora de red que ha llevado a cabo el cambio de módulos y de antenas en la estación base.

Una vez que se consiga aceptar la situación de todas las BTS pertenecientes al clúster de la provincia de Soria, el proveedor recibirá la retribución acordada, tal y como se ha explicado en el apartado 4.7 de esta memoria.

Capítulo VI: Conclusiones y trabajos futuros

6.1 Conclusiones

Como se ha comentado al comienzo de esta memoria, el objetivo principal de la realización de un *swap* es el de modernizar la red de comunicaciones. Aunque en esta memoria se ha limitado la ejecución del *swap* a un *site* concreto, el verdadero trabajo que se está llevando a cabo en muchas partes del territorio nacional, es el de realizar un *swap* en la red por completo, además de integrar nuevas tecnologías en algunas localizaciones y ampliar el número de sectores en otras.

Dependiendo del resultado del estudio del terreno para cada área en la que exista una estación, se desarrollarán unos trabajos u otros de los señalados en el párrafo anterior.

Además de modernizar la red, con estos trabajos se consigue mejorar el estado de los elementos que componen los sistemas de transmisión, y en algunos casos, abaratar los costes de los equipos al cambiar de un proveedor a otro.

Los operadores de red eligen el proveedor que mejor oferta puedan ofrecerles, para conseguir la mejor calidad/precio, por lo que al realizar un *swap* en la red, los operadores consiguen ofrecer un servicio óptimo al cliente, consiguiendo mejorar los equipos en las estaciones y además, economizar estos trabajos a realizar.

La idea primordial en la finalización del proyecto es que es imprescindible estudiar el resultado obtenido para optimizar los recursos y conseguir los objetivos marcados por el operador de red. La ejecución del *swap* por parte del técnico de obra es el punto esencial del trabajo, pero es necesaria la revisión de las medidas post-*swap* obtenidas mediante los *drive test*.

Además, cuando el técnico termina de hacer el cambio de equipos, debe revisar que todo haya quedado correctamente conectado y que las alarmas de mantenimiento queden apagadas cuando termina el *swap* y pone *on air* las celdas del *site*. Esto facilita las tareas de revisión al evitar posibles alarmas activas y cables cruzados, por lo que el tiempo de optimización sería menor. Un adelanto derivado de esto, es la obtención más rápida de los resultados requeridos y por lo tanto, una pronta aceptación del *site* por parte del cliente.

Como se ha explicado en el apartado 6.7, la aceptación de un clúster conlleva la obtención de la parte económica acordada con el cliente, por lo que a menor tiempo de realización y aceptación del *swap*, mejores resultados para ambas partes, empresa y operador de red.

6.2 Trabajos futuros

Las redes de cuarta generación, definidas como 4G ya son una realidad en España. La mayoría de las operadoras de red que ofrecen sus servicios en España ya proporcionan los avances que conlleva la implantación de esta nueva tecnología en parte del territorio nacional.

Sin embargo, aún se están llevando a cabo los trabajos de integración de la red 4G en muchas regiones del país y es necesario más tiempo para conseguir cubrir totalmente el área geográfica que aporte cobertura 4G en España.

Una vez implantada totalmente esta tecnología, de la misma forma que hoy en día sucede con las redes GSM y UMTS, en el futuro se necesitará actualizar la red por motivos de mejora de equipos, cambio de módulos, antenas y reestructuración de la red. Por tanto, un trabajo que será necesario puede ser un *swap* de la red pero para la tecnología 4G y sucesivas generaciones de tecnologías de red.

Las principales ventajas de 4G sobre las redes de 2G y 3G son una mayor velocidad de transmisión, tanto en el enlace ascendente como en el descendente, mejora en la seguridad, mayor cobertura y mayor ancho de banda gracias al aumento de la eficiencia espectral. Una característica muy importante de la implantación de 4G es la búsqueda del tratamiento automático de posibles errores que puedan existir en la red, lo que facilita la tarea de la optimización de la red, y de la misma forma, de la gestión de la red.

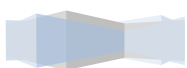
Las redes 4G presentan cuatro posibles frecuencias de portadora, que son: 800, 1800, 2100 y 2600 MHz, pero hasta el momento la más expandida es la de 1800 MHz, dado que esta banda de frecuencias ya es utilizada para la red GSM, por lo que los operadores pueden reutilizar el espectro usado para la red 2G sin tener que pagar la licencia correspondiente por el uso de un nuevo espectro de frecuencias.

Los parámetros más importantes de las celdas 4G, para todas las frecuencias, son:

- **Nombre de la celda:** que cambia dependiendo de la tecnología y el sector correspondientes.
- **eNodeB:** el nodo B al que pertenece dicha celda, es decir, la conexión de la celda a la red. Es el homólogo a la BTS para las celdas 2G.
- **TAC:** *Tracking Area Code*, código que indica el área al que pertenece la celda; será el mismo para todas las celdas vinculadas a un mismo eNodeB. Su uso es necesario cuando un usuario envía un mensaje a otro usando la red 4G pero el receptor se encuentra en estado de letargo, y por lo tanto la red no puede acceder a él mediante el identificador de celda, sino que necesita conocer el TAC de la celda a la que se encuentra conectado el usuario para la transmisión del mensaje [29].

- **Ganancia de frecuencia de subida:** valor correspondiente a la frecuencia de portadora de la celda. Para cada frecuencia de 4G, se define un valor diferente. Así, todas las celdas de una misma frecuencia de cualquier eNodoB tendrán el mismo valor.
- **Ganancia de frecuencia de bajada:** sucede lo mismo que en el parámetro anterior.
- **PCI:** *Physical Cell Index*, como su nombre indica, es el identificador de la celda en la capa física, y es necesario para distinguir la celda en la red. Su rango de valores comprende de 0 a 503. Es similar al PSC para las celdas 3G.
- **RSI:** *Root Sequence Index*, valor secuencial necesario para la realización de *handovers* entre celdas vecinas y evitar interferencias entre ellas.

Gracias a las mejoras de las redes 4G frente a las tecnologías anteriores, se consigue una mejora en la calidad de la comunicación para los usuarios. De este modo, se llega al objetivo principalmente buscado que se ha descrito en las motivaciones de la realización de este trabajo, que es conseguir mayor comodidad y calidad en las comunicaciones para todo el mundo. Así, las futuras ejecuciones de trabajos similares al desarrollado en esta memoria proseguirán el cumplimiento de este objetivo, como se ha venido haciendo hasta ahora.



Capítulo VII: Presupuesto y gestión del proyecto

La gestión del proyecto se representa en la Figura 7.1 en la que se reflejan las distintas tareas llevadas a cabo para la realización del proyecto, desde su comienzo en Febrero de 2015, hasta su finalización en Septiembre de 2015.

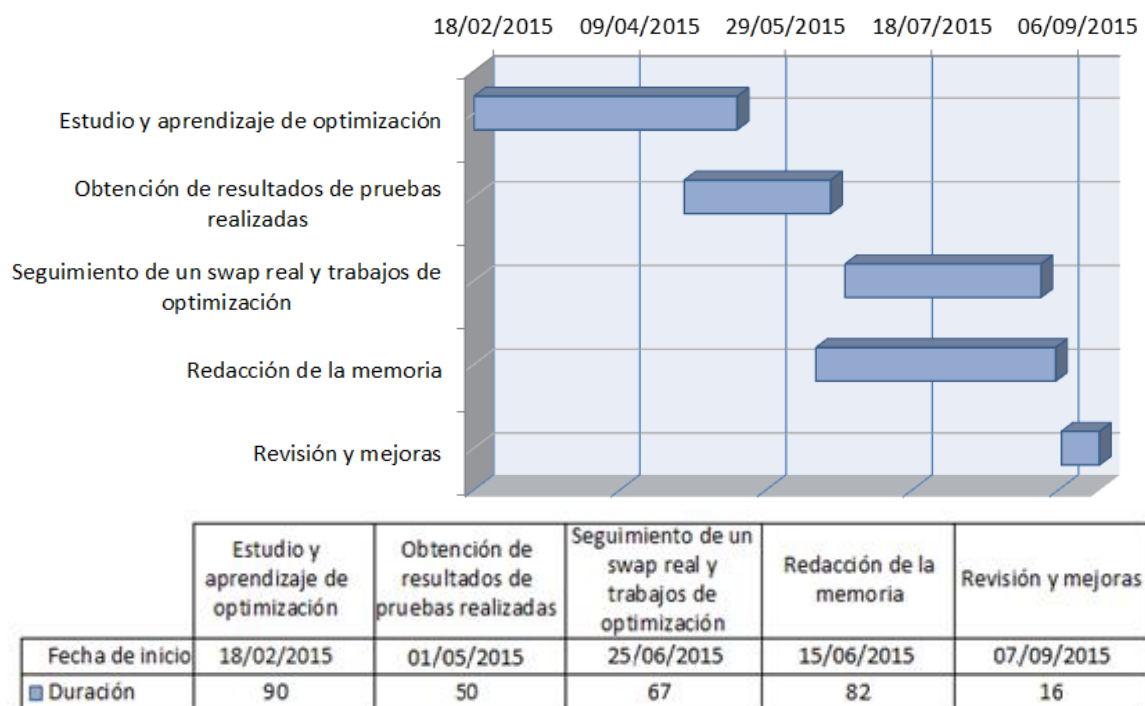


Figura 7.1: Representación de la gestión del proyecto mediante el Diagrama de Gantt

El proyecto ha tenido una duración aproximada de 7 meses en los que se han desarrollado las tareas expuestas en la Figura 7.1. En la tabla adjunta, se indica la duración de cada tarea en días y la fecha de inicio de cada una.

Esta memoria ha sido redactada contemporáneamente al seguimiento del *swap* en una localización real, debido a que esta segunda tarea requiere tiempo de realización, estudio de resultados y posterior optimización hasta su aceptación por parte del cliente.

A continuación se presenta el desglose del presupuesto necesario para la realización del proyecto, teniendo en cuenta que mi labor se corresponde con la del Ingeniero Junior. Las tutorías y trabajo realizado por la tutora se engloban dentro del personal de Ingeniero Senior.

Descripción	Salario mensual/coste	Tiempo de trabajo	Total proyecto
Personal			
Ingeniero senior	3618,13 € (netos)	7 meses	25326,91 €
Ingeniero junior	1297,06 € (netos)	7 meses	9079,42 €
Técnico de obra y mantenimiento	1350 € (netos) / swap completo	1 swap	1350 €
Equipos			
Antenas y módulos de la estación base		Compra	704.58 €
Equipo medidas <i>drive test</i>	12562 €	Coste total por 7 meses	12562 €
Ordenador portátil	700 €	7 meses (60 meses de depreciación)	81,67 €
Total			49104.58 €

Origen: Datos extraídos de la empresa dedicada a la realización del swap

El coste total calculado para la realización de este proyecto es de 49104.58 €.

El desglose de los elementos utilizados en las medidas de *drive test* se reflejan a continuación:

ELEMENTO	NECESARIO	COSTE
Escáner	1	1750 € / mes
Móvil forzado a tecnología concreta	1	280 €
<i>Datacard</i>	1	32 €

Los materiales utilizados para las medidas de *drive test* se alquilan para un determinado periodo de tiempo, que en este proyecto ha sido de 7 meses.

Bibliografía

A continuación, se indican las fuentes que han servido de apoyo para la redacción de esta memoria. Se disponen en orden de aparición en el texto, y se indican en el mismo las referencias correspondientes.

[1] -, *Comunicación*, Real Academia Española de la Lengua, 2015. Incluida en la página web:

<http://lema.rae.es/drae/srv/search?id=yImwzuvuYDXX2yBWBGGa>

[2] -, *Elementos del proceso de comunicación*, Aula Fácil, 2015.

[3] Turmero, P., *Telefonía móvil*, Telefonía móvil II, 2014.

[4] Huidobro, J. M., *Guía esencial de telecomunicaciones*, Ediciones Paraninfo, 2004.

[5] Apuntes de clase, *Sistemas de telecomunicaciones*, Universidad Carlos III de Madrid, 2014.

[6] -, *“Realización del swap”*, Informe técnico confidencial de la empresa proveedora del servicio, 2014.

[7] Gil, P., Pomares, J., *Redes y transmisión de datos*, Universidad de Alicante, 2010.

[8] Apuntes de clase, *Arquitectura de redes de acceso y medio compartido*, Universidad Carlos III de Madrid, 2012.

[9] Moreano, A., *Clasificación de las Redes*, Blogspot, 2013. Incluida en la página web:

http://armarlan.blogspot.com.es/2013_09_01_archive.html

[10] Departamento de Informática, *Clasificación de las redes*, IES Haría, 2014.

[11] -, *La situación de las tecnologías WLAN*, Informe técnico del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, 2004

[12] del Valle, A., *Fundamentos GSM y UMTS*, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2012.

[13] -, *GSM Network Architecture*, Radio Electronics, 2012.

[14] -, *Fundamentos de UMTS*, Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de publicación, 2006.

[15] Apuntes de clase, *Propagación y transmisión inalámbrica*, Universidad Carlos III de Madrid, 2014.

[16] Moretón, M.A., *Teoría y Cálculo de Antenas*, Wordpress, 2011.

[17] Arteaga, J.M., *Manual para la selección de antenas de las principales aplicaciones de la comunicación inalámbrica*, Universidad de Costa Rica Facultad de Ingeniería, 2007.

- [18] Casaño, F., *Diagrama de radiación, Antenas*, Campos electromagnéticos, Universidad Politécnica de Valencia, 2015.
- [19] Cedeño, Q., *Estudio de la situación actual del acceso a Internet y diseño de un proveedor de servicios de Internet inalámbrico, en la banda no regulada para la ciudad de Cayambe*, Facultad de Ingeniería de Quito, Ecuador, 2013.
- [20] Cisco, *Antena Omni contra antena direccional*, Cisco Systems, 2015.
- [21] -, *Reglamento de uso del dominio público radioeléctrico por radioaficionados*, BOE núm. 166, de 12 de julio de 2013, páginas 51697 a 51722.
- [22] -, *Teoría de Antenas*, Radiocomunicaciones, 2015. Incluida en la página web:
<http://www.radiocomunicaciones.net/teoria-antenas.html>
- [23] Olmo, M., *Clasificación de la polarización*, Hyperphysics, 2009.
- [24] Apuntes de clase, *Campos electromagnéticos*, Universidad Carlos III de Madrid.
- [25] Carlson, T., *Sistema de coordenadas horizontal*, Polariscopio, 2014.
- [26] -, *Cálculo del Azimut, elevación y polarización*, Media Soluciones, 2014.
- [27] Información obtenida de la página web:
<https://eduarea.wordpress.com/2012/10/11/key-performance-indicators-kpi-que-significa/>
- [28] -, *Downtilt coverage*, Wireless networking, Blogspot, 2011.
- [29] Dr. Michelle, M., *LTE*, Netmanías, 2013. Incluida en la página web:
<http://www.netmanias.com/en/post/blog/5930/lte-tracking-area/lte-tracking-area-ta-and-tracking-area-update-tau>
- [30] Elimar, E., *Red celular*, Universidad Fermín Toro, 2014. Incluida en la página web:
<http://www.webquest.es/wq/grado-universitario/red-celular-0>

Annex A:

Brief summary

Swap of a communications network: process and review in 2G and 3G technologies works

**Author: Cristina Bachiller
Madroño**

October 2015

**Tutor: María Julia
Fernandez-Getino García**



1. Introduction

Since the beginning of time, the evolution of human race has developed around the needs that have been emerging to solve problems and improve life conditions. Currently, communication is something essential in life and its development grows faster every day.

Communication can be explained in a simple way, there are three main parts: transmitter, message and receiver; that make possible the transmission of information. This transmission could be made in different ways, but in this work we focus on wireless networks.

The main goals in the realization of this project are the modernization of the communications network to obtain better performance in the services that the network offers us, and get reduce costs in network utilities.

The evolution of technology has brought us the possibility of improving the characteristics of the network. In the next figure it is shown the diverse technologies existing from the beginning until nowadays:

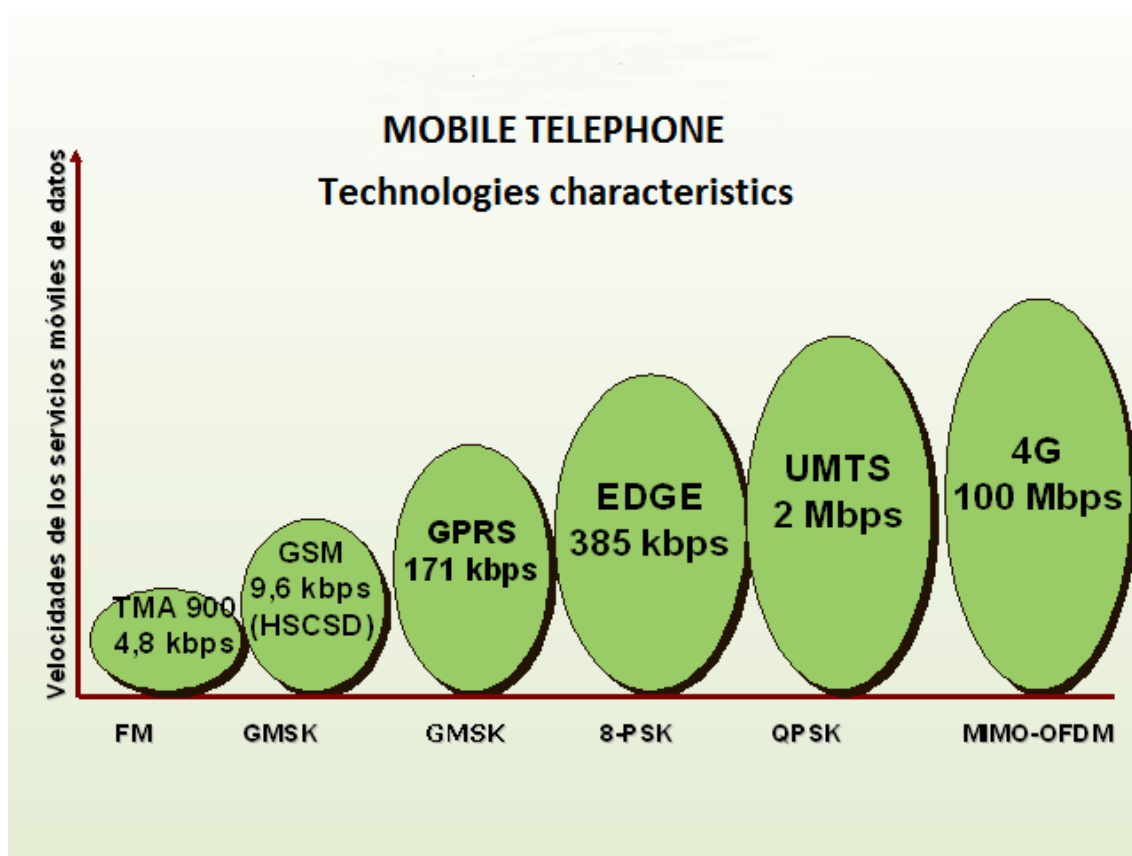


Figure 1: Raising technologies [3]

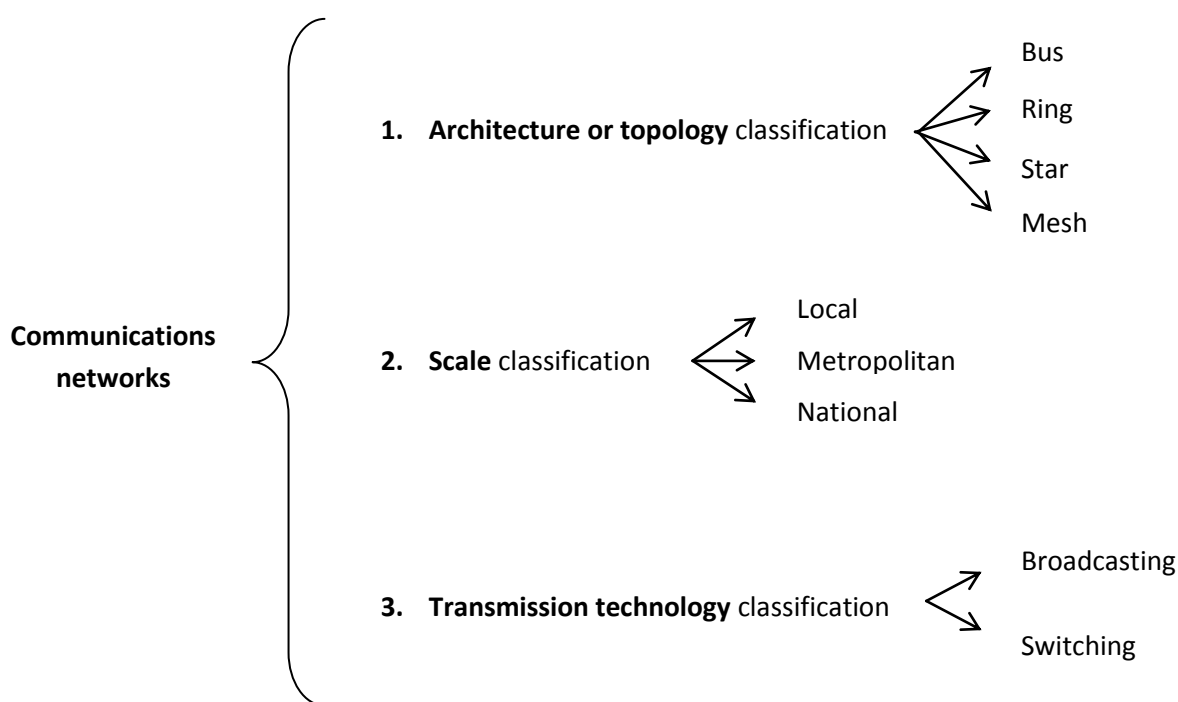
The most used technologies nowadays are GSM and UMTS, that are second generation (2G) and third generation (3G) technologies, respectively.

Currently, main network operators are integrating 4G technology in lots of base stations that offers faster data transmissions, more security in the information transmitted and faster Internet access.

This thesis is focused on GSM and UMTS technologies which are the ones already implemented in the base stations and so, the ones that are related to the swap in the network as explained in the thesis.

A swap in the network can be made in two different ways: an exchange of the radiofrequency modules in the station that radiates de power to transmit and receive the information, or an exchange in the modules and in the antennas that are in the station. That is, change the vendor of the modules and the antennas already installed in the station with new ones of the new vendor that is going to occupy the site.

The communications network could be classified into different types depending on the architecture or topology, the covered distance and the type of transmission technology.



On switching transmission there are two types of network switching, circuit-switching and packet-switching. The first one needs to set up a connection line between transmitter and receiver during all the information is being sent, while packet-switching divides the information into small pieces sending these different parts on diverse line connections between nodes from transmitter to receiver.

The type of network that is referenced in the work is the circuit-switching network for 2G technologies and both, circuit-switching and packet-switching for 3G technologies.

2. Basic principles over network technologies and system radiant elements

Nowadays, communications network is composed of cells in octagonal shape where there is a station which goal is to cover the area inside the cell. When a user moves from one cell to another at the same time he is making or receiving a call, the process is called handover.

Here there is an example of the network architecture:

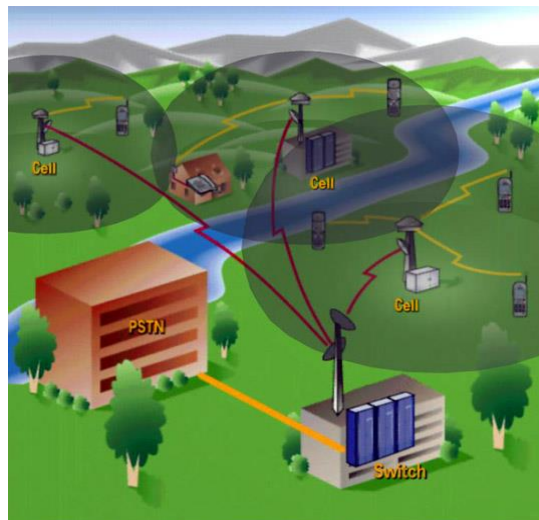


Figure 2: cell structure [30]

As it has been told, the swap process is going to be strictly related to 2G and 3G technologies, whose network topologies are the following ones:

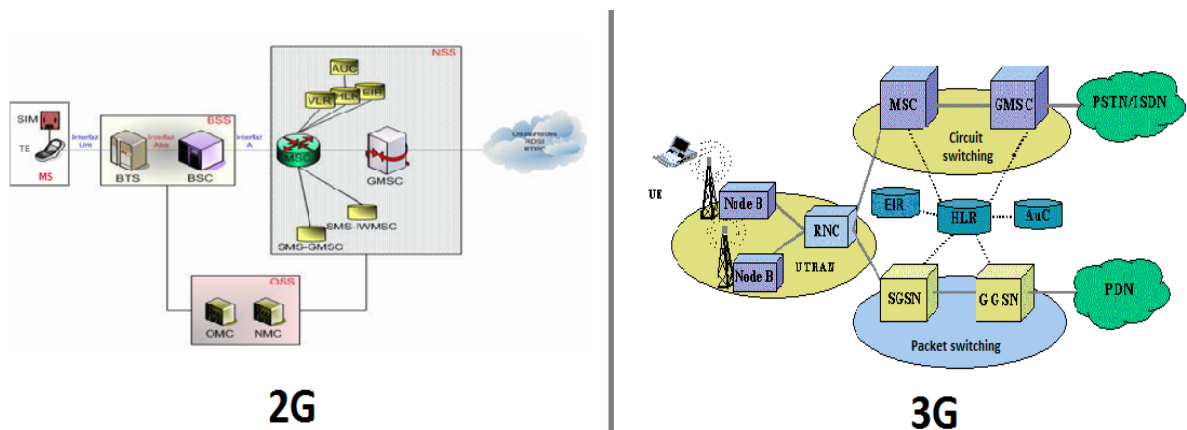


Figure 3: 2G and 3G network architecture technologies [13] [14]

The most relevant difference between the architecture of these two technologies is the controller, called BSC for 2G and RNC for 3G. In the same way, the station that contains all the modules and antennas to radiate power are called BTS for 2G and NodeB for 3G. The other parts in the technologies' architecture have a similar operation in the network.

Antennas play an essential role in this project, because depends on the direction of radiation will be needed a kind of antenna or another. So, there are two main types of antenna, omnidirectional and directional. The first one radiates around the axis of the antenna a limited area all around it, the second one radiates in a determined direction and not all around the antenna axis. Here are the two radiation antennas' diagrams:

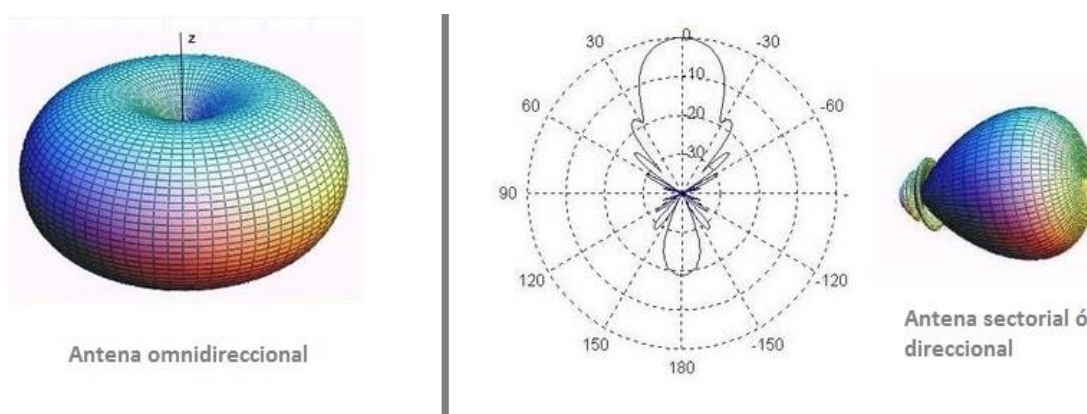


Figure 4: Antennas' diagram radiation [17] [18]

So, for the first type of antenna, there will be only one sector in the site, which means to have only one antenna in the station for the required technology, because it radiates everywhere. For the second one, there will be as many sectors as required. Each one of the sectors will have an antenna which direction of maximum radiation will be the one indicated by the azimuth angle. This angle is the one measured from the geographical north until the position of the directional antenna in the clockwise sense.

Therefore, each one of the sectors in the station will have an azimuth angle that defines it and other important parameters to distinguish the sector from another one. The sectors in the stations for each one of the technologies implemented in there are called cells, so as an example, a station with both, 2G and 3G, technologies integrated, will have as many cells as the total numbers of 2G sectors plus the 3G sectors.

Each one of these cells are defined by their azimuth and others parameters like: cell ID, BTS/NodeB, BSC/RNC, Local Area Code (LAC), Scrambling Code, downlink and uplink frequency, and another ones that are different for each type of technology.

For 2G technology, there are two main frequencies, GSM900 and GSM1800, which cells are called GSM and DCS respectively. In 3G technology, there are also two main frequencies; UMTS900 and UMTS2100, calling U900 and U2100 cells respectively.

3. Swap in a communications system

First thing to do in the execution of a swap is to study the base station where the swap is going to take place in. It is necessary to observe the existing system in the station, and then, depending on what there should be changed, proposing the new structure that is going to be implemented in the station, describing the new types of antennas to integrate and the parameters of the swapped cells.

Next thing to do is the radio design of the cells and then, it is performed the drive test measures to check the current situation in the area affected for the station to be swapped and like this, after the swap is executed, it can be compared the results between the measures before and after the swap with new drive test measures.

Between the two drive tests measures carried out, the respective work technician goes to the station to make the changes proposed in the first step described above, that is, swap the network.

After comparing these two tests, takes place the optimization of the base station for getting the required results asked by the network operator who is the owner of the swapped modules and antennas.

Next figure shows the steps to complete the swap in a concrete site:

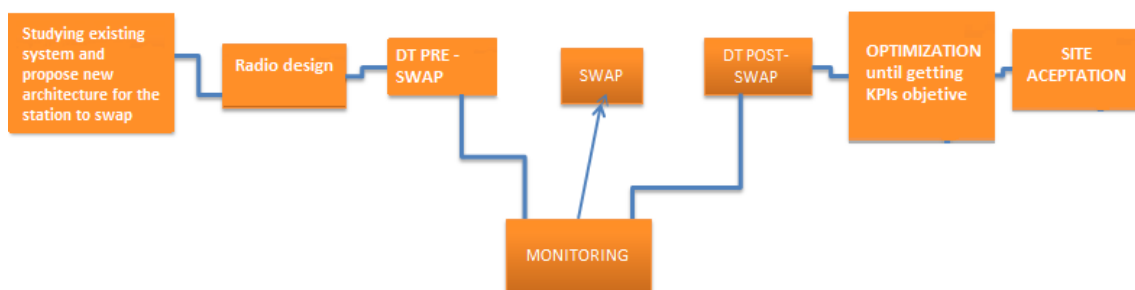


Figure 5: Steps to carried out the swap in the network

Once the optimization is completed, that is, when the site satisfies the KPIs requested by the network operator, the site is accepted and the swap in the site is totally complete.

KPIs requested by the network operator can be achieved when the levels of traffic, the percentage of dropped calls and the percentage of non-connected calls in the swapped cells satisfy the network operator's objectives. In the next figure it is shown an example of a swapped cell with its traffic level, dropped call's percentage and non-connected calls percentage before and after the swap. In this case, the swap was carried out on the fourth of May, and that's why the dropped call percentage is too high that day.

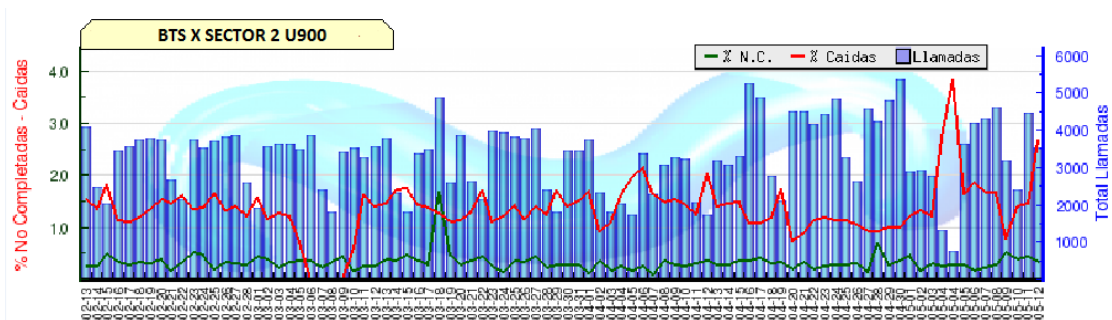


Figure 6: Example of a swapped cell levels' of traffic, dropped and non-connected calls

To optimize the site after the swap, some parameter values' could be modified from the designed value. One of these parameters is the transmitted power, which value is 40 Watts for each sector, but it can be lower if necessary. Another important one is the BsTxPower, that is, the value of the attenuation in a sector. Modifying this value, the traffic's level and the dropped calls could be lower or higher depending on the sought objective.

It is important that any alarm stays active after the swap, because in that case, it means there is something working on the wrong way in the swapped site.

The graphics as the one shown in the Figure 6 can help us to detect a cross – cable problem. That is, once the modules have been changed in the station, it may occur that the cables are not connected on the right way and this can cause a problem in the realization of handovers between the swapped cells and their neighbor cells.

Another important check to take into account is the scope of the radiation in the swapped cells. Each sector on the base station should cover the area defined in the radio design of the site. If the scope is larger than the defined one, it could not covered the shortest area around the station and bring dropped call problems. The contrary case could cause the neighborhoods problems in the farthest station area covered by the antennas of the swapped site.

Once the KPIs have been reached, the site is accepted. The total area of all the swapped sites is divided into clusters that, at the same time, contain a varied number of sites. To get the acceptance of a cluster, all the sites belonging to it must have been accepted by the network operator. Once a cluster is accepted, the company responsible of the modernization of the network receives the economic retribution agreed with the network operator.

4. Follow up of a swap in a real site

The swap is carried out in a location in the province of Soria. It is studied the levels of traffic and dropped calls in the future swapped cells comparing them with the values obtained before the swap is executed. It is a swap in GSM cells. There already exists three sectors for this technology, but with the swap, it is going to change the radiofrequency modules and the antennas of the site. At the same time the swap is going to take place in the GSM cells, an integration of three sectors of U900 technology is going to be done.

The new antennas support both technologies at the same time. So in each one of the sectors that make up the site there is a GSM and a U900 cell, that means that both technologies share the same antenna on each one of the sectors.

The swap is made on the seventh of August, and after the optimization task, the result on each of the swapped cells is shown on the next figures:

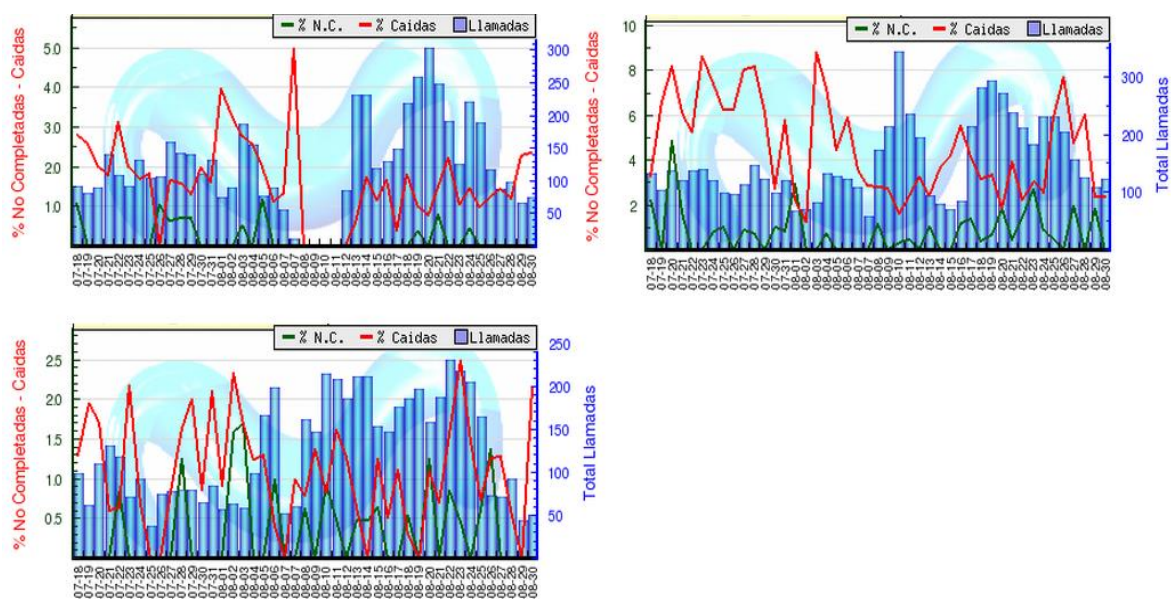


Figure 7: Final state of swapped cells in a real site

The graphics above correspond to sector 1 in the upper left image, sector 2 in the upper right image and sector 3 in the lower one.

As it can be seen, sector 1 was down during three days from the swap, but at last, the technician changed the radiofrequency module in order to solve the problem.

Traffic levels were higher than before, so the value of BsTxPower parameter was modified to elevate the attenuation and so, decrease the dropped call percentage at the same time.

During the final days it can be appreciated that all the levels are more or less similar to the ones presented before the execution of the swap.

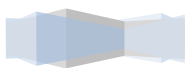
5. Conclusions and further work

The main conclusion obtained from this project is that the modernization of the network is necessary in order to provide the services of the network to the users.

Besides this, it is very important to review the results and make optimization tasks in order to get the expected goals.

The task of the technician is the principal point on the execution of the swap because everything in the base station has to be connected rightly and it is quite necessary to take care about the state of the new antennas and modules for getting the perfect results.

Future works in the network is the implementation of the 4G technology, which is already taking place in some sites in Spain, so in the future it will be necessary to change the modules that provide the 4G services in the network like its being done nowadays with 2G and 3G technologies.



Annex B:

Chapter I - Introduction

1.1 Brief introduction about telecommunication: motivation

Since the beginning of time, evolution of humans has developed around the needs that have been appearing, in order to solve problems and improve living conditions. Currently, communication is something essential in life, and develops faster every day.

Communication is understood by the treatment or reciprocation between two or more people, or the transmission of signals through a code known by the transmitter and receiver, according to the dictionary of the Royal Spanish [1] Academy.

Communication has been one of the most important pillars for getting everything we have around us. The simplest communication scheme is represented in Figure 1.1, where three main parts can be distinguished: transmitter, message and receiver.

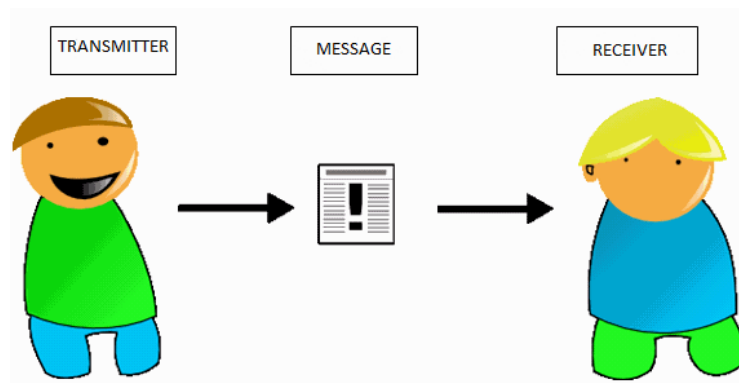


Figure 8.1: Communication scheme [2]

Figure 1.1 is representing a communication system, that is, the schema indicates the transmission of a signal through a communications channel from transmitter to receiver.

In this project, the communications channel is the free space, through which waves containing information are transmitted. These waves can be analog or digital signals depending on the transmitting system.

Chapters III and IV explain the characteristics of each one of the technologies used in this work.

Over time, humans have changed their lifestyle, in order to get the most comfortable and best conditions for his life. Thus, communication has evolved as objectives have changed for men.

One of the reasons for which communications have improved exponentially in recent years is the quest for simplicity and ease in everything around us.

In recent years, technology has allowed a breakthrough in the field of communications, getting advances that were unthinkable to happen 60 years ago, while nowadays they are totally ordinary and accessible to many people.

From finding information using a smart phone in the middle of the street, until allowing communication via videoconference between two people separated by thousands of kilometers.

Definitely one of the strongest highlights in this race for the improvement of communications is the telecommunications or communications over long distances.

Every day the necessity of growing up and the interest of improving communications around the world are increasing, that's why in Spain are carrying out works of deployment and modernization on communication networks.

Given the continued pursuit of comfort and quality, it is necessary to update the services already available to satisfy these desires, when new advances are discovered and developed.

In the telecommunications' area, 2G and 3G networks are common in most urban areas and what is sought is an increasing speed data transmission granting time savings.

Current implementations of 4G networks allow improving communications' quality, higher speed range and increased coverage area.

In addition to the above specified reasons, the reduction of costs is an important part leading to perform this type of work in the network. Network operators offer their customers better services at lower prices every day, due to the wide range of existing services.

For this reason, it is necessary that the vendor that supplies them with the material necessary to create the radiant system also reduce the cost of equipment. Therefore, in addition to maintaining and improving the service offered to customers, network operators seek a reduction in maintenance costs and integration, seeking the vendor that offers the best value.

It is especially in towns and rural areas where these services have not been implemented until now. However, thanks to the exponential growth of the telecommunications sector, the number of rural areas where minimum levels of coverage and mobile data transfer are not achieved are becoming less in the Spanish territory.

This project aims the improvement of the telephone network in Spain by an operator, in which the already implemented systems are modernized, changing the already presented systems by new ones to improve call quality and transfer of information through mobile data, and so, the introduction of new technologies such as 3G and 4G in some locations.

Chronologically, we can present a sketch showing the growth of network technologies in recent years:

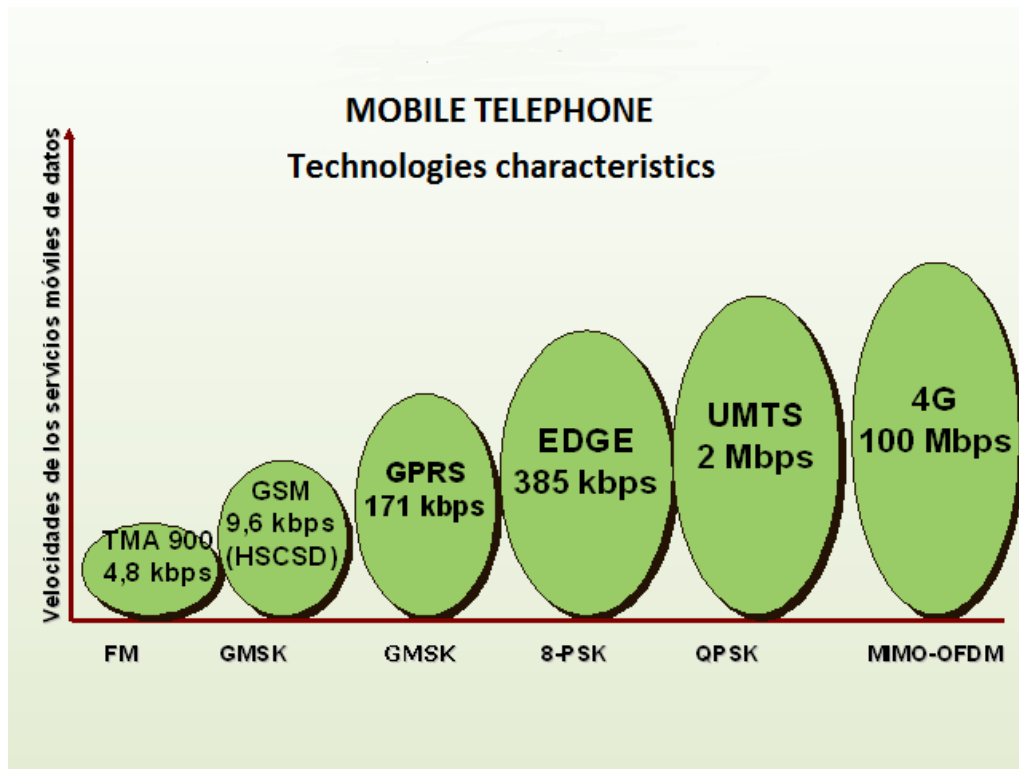


Figure 1.9: Network technologies' chronology [3]

In Figure 1.2 the different network technologies are represented chronologically. On each one, transmission rate that each technology can provide is indicated. On the horizontal axis, the type of modulation used in each case indicated.

The main features of each one of the technologies represented in Figure 1.2 are described below:

- **TMA** (Automatic Mobile Telephony), first generation technology (1G), whose transmission is performed in analog form, and only allowed to send and receive calls and voice mail service.
- **GSM** (Global System for Mobile Communications) second generation technology (2G), which incorporates digital transmission and offers the same services as before, and also allows the transmission of short text messages (SMS) , conference calls and data transmission.
- **GPRS** (General Packet Radio Service): considered 2.5G technology because it is an advanced version of GSM with the same services offered but with higher throughput.
- **EDGE** (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) considered 2.5G or 2.75G technology due to an increased transmission rate relative to GPRS networks.

- **UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System) that provides quick access to Internet and multimedia platforms.
- **4G**: fourth generation telephony with higher transmission speed, in which different carrier frequencies are distinguished, depending on the transmitted signal. It is able to switch between wired and wireless networks, so each signal is sent in a certain frequency range. These networks are specialized on Internet access and endless applications at high speed to facilitate entertainment.

Moreover, each technology uses a different modulation; which can be classified firstly in analog or digital. Each one of these two modulations can be divided in turn into different types of modulation according to different wave parameters. Below, the most important characteristics indicated in Figure 1.2 are defined:

- **FM**: frequency modulation. It is an analog modulation, which aims to encode information by varying the frequency of the carrier signal without changing the amplitude of the wave. The most important advantage of this modulation is the low cost of the equipment used and a very low affectation of noise and external signals.
- **GMSK**: Gaussian minimum shift keying. It is a digital modulation by continuous phase frequency variation that includes a Gaussian filter to smooth the phase transitions, so that the signal does not undergo large changes in the phase of the wave in signal transmission and so reduces the bandwidth needed. It also gets reduce interference that may result in the adjacent channels. However, this modulation causes more ISI (intersymbol interference) because of at the filter output, the signal has more than 1 bit duration, and thus not the end of a symbol and the beginning of the next is well defined.
- **8-PSK**: digital modulation order PSK (Phase Shift Keying). In this case, the encoding is done by varying the phase of the wave between a discrete number of values. More specifically, 8-PSK can vary from 8 stages the wave. The advantage is that, the higher the number of phases that can vary the wavelength, the greater the amount of information that can be transmitted. The downside is that the error rate is high compared to other modulations.
- **QPSK**: (Quadrphase PSK). It is a digital modulation which enables variation between 4 phases. Each symbol is encoded in 2 bits, so the error rate is significantly lower than in the previous case because it only differs from one symbol to another in 1 bit.
- **MIMO-OFDM**: OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) is able to divide the data into different carriers that are separated by specific frequencies. MIMO (Multiple Input, Multiple Output) which means that these systems are capable of transmitting data over multiple outputs and receive multiple inputs, through the use of multiple antennas both on the transmitter and receiver.

Thus, this modulation allows that, through a single transmission medium, many signals can be transmitted at the same time by sending each signal on a particular carrier. This modulation is highly resistant to interference and also the distortion caused by multipath is very low.

As you can see, thanks to the specifications of the evolution of the technologies used, performance has been improved in each new leap made.

The advantages obtained are mainly: an increase of the transmission rate that each technology is capable of providing, and the improvement in the use of modulation best suited to each technology. That is, get a better coding information carrying signal, and therefore, getting the signal received as close as possible to the transmitted signal, which is the ultimate goal of communications systems. [4. 5]

Thanks to these changes that have been providing performance improvements of services offered, transmission and reception quality of information is higher every time. This is one of the reasons that lead network operators to execute swaps in the communications network and integrate and implementation new technologies in a larger number of sites every year.



1.2 Timeframe: objectives

The project is carried out in certain parts of Spain, so that the specifications of the network structure and architecture of the technologies described in this paper are limited to Spanish territory, since, although the current situation is very similar to other European countries, it is not exactly the same.

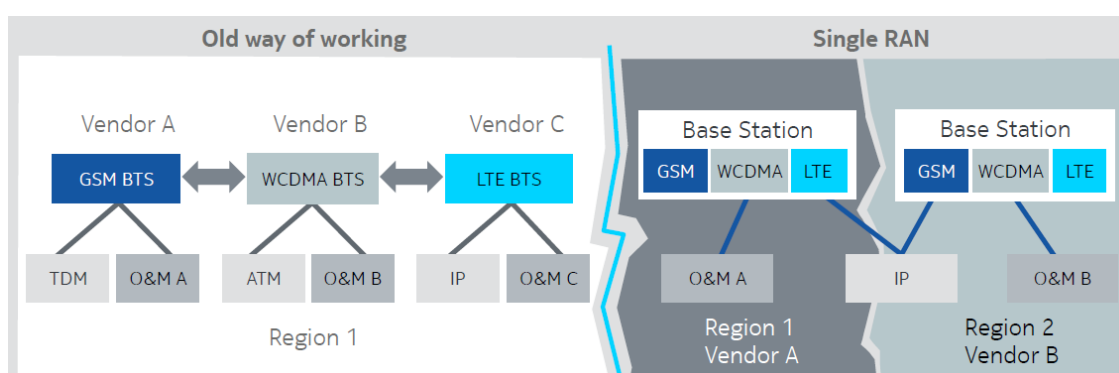
Currently in Spain predominates 2G network, although in 2000 the introduction of GPRS technology described above in section 1.1, which increased the rate of data transmission is initiated.

In February 2004 it began to deploy 3G network technologies, but this does not entirely cover the national territory, so even today 3G networks are being implemented in points reached only by 2G networks.

From 2006, 3G networks are implanted in specific locations and are not limited to UMTS, but expand to HSDPA, which provide more channel capacity for data transmission and higher transfer rate.

It is currently carrying out the integration and implementation of LTE (4G technology) in part of the Spanish geography, but the deployment of this technology is not performing evenly by all network operators serving in Spain, but each one carries its own pace of work, so it is early to achieve full coverage by 4G networks throughout Spain.

Thanks to these changes carried out in the communication network, a major goal of simplifying the network has been carried out, because years ago, the network architecture was different from the present, as shown in the following figure:



10: Old and new network communication's architecture [6]

The vendor is the company that provides communication equipment capable of producing the power radiated to access the communications network, that is, the owner of the antennas and integrated modules in a station that allows getting radiation waves containing the information to be transmitted.

As can be seen, before carrying out this modernization of the network, each vendor provide a different network technology, so that the work and maintaining station should be carried out separately by technologies, that is, if a same station network provide access to 2G, 3G and 4G technologies, each vendor was concerned with maintaining their own access technology, and so on all stations.

With the refreshed network carried out, it is getting easier doing the works in the network and now, one same vendor provides all networking technologies that wish to operate on the same base station. Thus the works carried out on each station, and likewise, their maintenance are performed at each station commonly, implying lower costs for the network operator will not have to pay for the costs of the various vendors to the same station.

This new network architecture is called Single RAN, and is changing the organization of the network by introducing simpler structures in the base stations, in which the means of transport data transmission and operational support are shared.

The main problem with this structure is that each network technology is developed individually and belongs to a different standard. Features available in each technology cannot be applied to the rest ones, so that, to achieve reach this new network architecture, it is necessary that all technologies integrated in a single base station have to be developed in parallel considering the compatibility between them in order to take advantage of the full benefits of the Single RAN structure.



1.3 Memory structure

At the beginning of memory, the motivations for this project are presented through this Chapter I, comprising an introduction from the general framework of communications and affecting chronologically in the situation of the communications network.

Secondly, in Chapter II, a classification of networks is offered according to different approaches, as its topology, its scale and technology transfer. The main types of networks and the environment in which they are used are distinguished according to their purpose.

In Chapter III are developed three different sections. The first two are theoretically introduction of 2G and 3G communications networks, with special attention to the parameters defined in each one of the two types of technologies and exposing their situation in the current network. Furthermore, the distribution of the various components of the network in each case is explained.

The third section of Chapter III is devoted to the main element to consider in this memory, the antennas, which are discussed generally the main types and the most important parameters that define them, that will be essential for further explanation in the execution of the swap.

Later, in Chapter IV, it is explained step by step the various stages through which passes the execution of the swap, including examples that allow a better understanding of the work to be performed, in detail.

In Chapter V it is performed monitoring the performance of a swap in a particular location, in which all stages are distinguished described in the previous block. For confidentiality reasons, carried out monitoring does not include real names because it is a real case of a swap made by the supplier that shapes this memory, the network operator.

In Chapter VI the conclusions drawn from this project with the advantages and disadvantages that may occur are discussed. In the same chapter it is proposed a future work to be done on the network, such as the modernization of the network of fourth generation 4G. In the same way that is currently being modernized 2G and 3G network technologies, in the future will be done something similar in the 4G networks that are implemented in specific points of the Spanish geography by the most important network operators in Spain.

Finally, Chapter VII contains the estimated time to complete this project, and also the hours of dedication required. The latter is presented by the Gantt chart, which displays schematically in a simple form, the way in which this project has been carried out taking into account the different stages of learning basis, tuning, and performance swap optimization of results and writing of memory.

Annex C:

Chapter VI – Conclusions and further work

6.1 Conclusions

As mentioned at the beginning of this specification, the main purpose of the execution of a swap is to modernize the communications network. Although in this memory it has been limited the implementation of a swap in a specific site to only one, the real work is being carried out in many parts of the country, and it consists in making a swap in all the network and integrate new technologies in some locations and expand the number of sectors in others.

Depending on the outcome of the study of the land in every area where a station is, it will be executed one of the works explained in the upper paragraph or another one.

In addition to modernizing the network, this work improves the state of the elements of the transmission systems, and in some cases, gets lower costs in the equipment when switching from one vendor to another.

Network operators choose the vendor that can offer the best quality / price, so, to do a swap network, operators offer customers get the best service, getting upgrade equipment at stations and also save these works to perform.

The main idea in the completion of the project is that it is essential to study the results obtained to optimize resources and achieve the objectives set by the network operator. The execution of the swap by the technician worker is the most important of the entire work, but the revision of the post-swap measurements obtained by the drive test is needed.

In addition, when the technician ends to make the change of equipment, you should check that everything has been properly connected and maintenance alarms remain off when the swap ends and put on air the cells of the site. This facilitates the tasks of revision to avoid possible active alarms and cross cables, so optimization time would be less. A development derived from this, is the obtaining of information faster and thus, getting the site accepted by the customer.

As explained in section 6.7, the acceptance of a cluster involves obtaining economic part agreed with the customer, so a shorter completion and acceptance of the swap, better results for both parties, company and network operator.

6.2 Further work

The fourth generation networks, defined as 4G are already a reality in Spain. Most network operators offer their services in Spain and provide the advances that involve the implementation of this new technology in most of the country.

However, they are still carrying out the integration of 4G networks in many parts of the country and it is needed more time to cover completely the geographic area to provide 4G coverage in Spain.

Once fully implemented this technology, just as happens today in GSM and UMTS networks, in the future will need to update the network for reasons of improved equipment, changing modules, and antennas and network restructuring. Therefore, a job that will be require can be a swap of the network for 4G technologies and successive generations of network technologies.

The main advantages of 4G over 2G and 3G technologies, are a higher throughput, both the uplink and downlink, improved safety, increased coverage and higher bandwidth by increasing the spectral efficiency. A very important feature of the implementation of 4G technology is the search for automatic processing of errors that may exist in the network, which facilitates the task of network optimization, and in the same way, the network management.

4G networks have four possible carrier frequencies, which are: 800, 1800, 2100 and 2600 MHz, but until now, the one most expanded is 1800 MHz, as this frequency band is already used for GSM network, so operators can reuse the spectrum used to the 2G network without paying a license for the use of a new frequency spectrum.

The most important parameters of 4G cells for all frequencies are:

- **Name of the cell:** that changes depending on the technology and the corresponding sector.
- **ENodeB:** the Node B to which said cell belongs, that is, the connection of the cell to the network. It is the counterpart to the BTS for the 2G cells.
- **TAC:** Tracking Area Code, code indicating the area to which the cell belongs; It will be the same for all cells connected to the same eNodeB. Its use is required when a user sends a message to another using the 4G network, but the receiver is in a state of lethargy, and therefore the network cannot access it using the cell identifier, but you need to know the TAC of the cell to which the user is connected to the message transmission [29].
- **Gain uplink frequency:** corresponding to the carrier frequency of the cell value. 4G for each frequency, a different value is defined. Thus, all cells of the same frequency of any eNodeB have the same value.
- **Gain download frequency:** it is the same as in the previous parameter.

- **PCI:** Physical Cell Index, as its name suggests, it is the identifier of the cell in the physical layer, and it is necessary to distinguish the cell network. Its range of values comprises 0 to 503. It is similar to the PSC for the 3G cell.
- **RSI:** Root Sequence Index, sequential value necessary for performing handovers between neighboring cells and prevent interference between them.

Thanks to improvements of 4G networks from previous technologies, an improvement is achieved in the quality of communication for users. Thus, the objective sought mainly described the motivations for carrying out this work, which is to get comfort and quality communications for everyone is reached. Thus, future executions of similar work developed in this memory to continue meeting this objective, as has been done so far.

